

**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**TESIS:**

**"CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES  
RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE  
UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA"**

**PRESENTADO POR:**

- **Bach. ARRATIA VALDEZ, Yelhsin Henry Antony**
- **Bach. MAMANI APAZA, Leonel**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

**Juliaca – Puno – Perú**

**2017**

**II.**



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

"CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES  
RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN  
SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA"

PRESENTADO POR:

BACH. ARRATIA VALDEZ, YELHSIN HENRY ANTONY

BACH. MAMANI APAZA, LEONEL

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

"INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA."

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO:

PRESIDENTE

:

MSC. ING. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

PRIMER MIEMBRO

:

ING. WALTER JACINTO LIZÁRRAGA ARMAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:

ING. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO





## UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

### RESOLUCIÓN DECANAL Nº 338-2017-D-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de noviembre de 2017.

**VISTOS.-** El Oficio N° 136 -2017-D/CAPIME-UANCV, del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el Informe N° 039-2017-MARH/UANCV del Presidente del Jurado dictaminador del Trabajo de Tesis, RESOLUCIÓN DECANAL N° 169-2015-D-FICP-UANCV, y con el acta de calificación de Perfil de tesis de fecha 22 de julio de 2015, y el acta de calificación del Borrador de Tesis de fecha 18 de octubre de 2017, para optar al Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el tema titulado: "**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**".

#### CONSIDERANDO:

Que, el(los) Bachiller(es): **ARRATIA VALDEZ, Yelhsin Henry Antony y MAMANI APAZA, Leonel**, ha presentado su Trabajo de Tesis Titulado: "**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**".

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías, nominó como Jurado a los siguientes Docentes:

- |               |   |  |
|---------------|---|--|
| * Presidente  | : | MSC. Ing. MARIO ALEJANDRO, RAMOS HERRERA |
| * 1er Miembro | : | Ing. WALTER JACINTO, LIZARRAGA ARMAZA    |
| * 2do Miembro | : | Ing. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO        |

Que, el Jurado Dictaminador ha aprobado en su integridad el Trabajo de Tesis titulado: "**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**".

**Estando** en la opinión favorable por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, en concordancia al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### SE RESUELVE:

**ARTICULO PRIMERO.-** APROBAR, el TRABAJO DE TESIS, de el(los) Bachiller(es): **ARRATIA VALDEZ, Yelhsin Henry Antony y MAMANI APAZA, Leonel**, para optar al Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: "**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**".

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Tesis en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**ARTICULO SEGUNDO.-** La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional Ingeniería Mecánica Eléctrica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c.  
Interesado  
Arch.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## AGRADECIMIENTO.

Quiero agradecer a Dios por ser la razón de inspiración en todos los proyectos personales y por bendecirme.

Agradecer a la “**Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez**” y a la Escuela Profesional de “**Ingeniería Mecánica Eléctrica**” por haberme brindado los conocimientos para poder ser profesional en esta carrera.

Agradecer a mis padres **Enrique Arratia y Rosa Luz Valdez** por apoyarme y confiar en mí para concluir este sueño.

Agradecer también a una persona en especial para mí, llamada **Zami Lisbeth L. H.**

*Yelhsin Henry A. Arratia Valdez.*

Quiero agradecer a la “**Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez**” y a la Escuela Profesional de “**Ingeniería Mecánica Eléctrica**” que me dieron todos los conocimientos para lograr esta profesión.

Y también agradecer a todos por el apoyo, amor y ánimo que me entregaron, en especial a mi madre **Feliciana Apaza Tamayo**, que estuvo en todo momento conmigo. Y a mi abuela **María Asunción Tamayo Machaca**, que me apoyo para hacer realidad mi proyecto de tesis.

*Leonel, Mamani Apaza*



## DEDICATORIA.

A mis padres:

**ENRIQUE ARRATIA QUISPE Y  
ROSA LUZ VALDEZ HOLGUINO.**

Por haberme formado y demostrarme que se  
puede salir adelante en los momentos más  
difíciles y enseñarme que todo es posible.

*Yelhsin Henry A. Arratia Valdez.*

*Dedico esta tesis a mi madre,*

**Felicianita Apaza Tamayo**

*Hermanas, y padre **Néstor Mamani Borda***

*Que desde el cielo guía y cuida mis pasos.*

*Leonel. Mamani Apaza*

## RESUMEN.

En el capítulo I se detalla el marco metodológico de nuestra investigación, donde denotamos la justificación a nuestro tema de investigación y planteamos el problema general, problemas específicos, hipótesis general, hipótesis específicos, variables dependientes, variables independientes. Es en este capítulo donde fundamentamos el porqué de nuestro título de investigación llamado: "Construcción de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica"

En el capítulo II se adentra a conocer sobre los conceptos relacionados a los vehículos eléctricos, como son sus sistemas: motorización, baterías, control, chasis y partes mecánicas para la transmisión. También estudiamos algunos antecedentes relacionados a este proyecto. Todo esto nos servirá para poder nosotros construir el prototipo vehicular eléctrico.

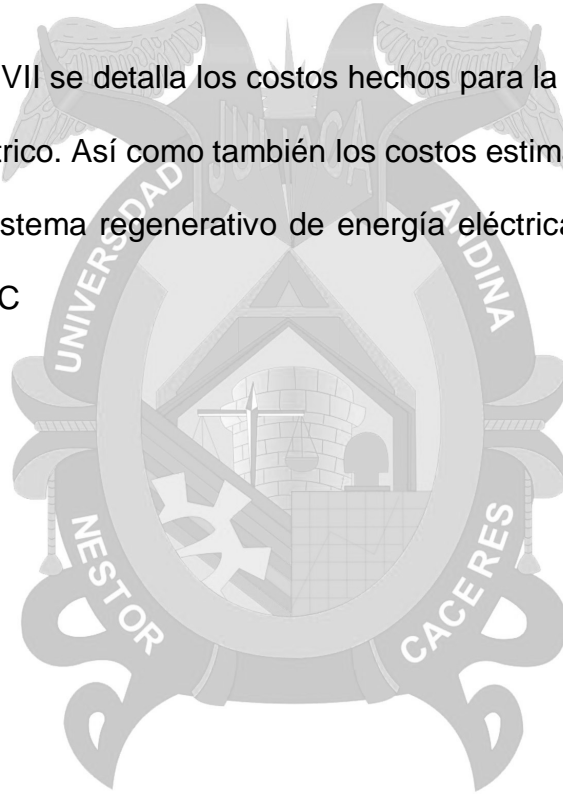
En el capítulo III se hace el dimensionamiento y construcción del prototipo vehicular eléctrico; este comprende hacer un dimensionamiento energético para poder obtener la potencia del motor eléctrico, y en base a esto calcular la cantidad de baterías requeridas. También se realiza la simulación aerodinámica para corroborar que nuestro cálculo de motor es correcto. Se hace también una descripción de las partes fundamentales que conforman el diseño, como es: motor, baterías, controlador, y eficiencia

En el capítulo IV, se hacen las pruebas de conducción del prototipo vehicular eléctrico, basándonos en un formato elaborado por nosotros, estas pruebas son de autonomía y de velocidad angular, cada una de ellas nos sirve para hacer cálculos posteriores.

En el capítulo V se hace el dimensionamiento del sistema regenerativo de energía eléctrica, utilizando algunas fórmulas de diseño mecánico y seleccionando equipos como son los alternadores y el convertidor elevador DC –DC.

En el capítulo VI se hace el análisis de resultados, este consiste básicamente en demostrar el porcentaje de aumento de la autonomía, si tuviera instalado el sistema regenerativo de energía eléctrica. Se toma como caso la ruta de prueba que es la vía Juliaca – Lampa y viceversa

En el capítulo VII se detalla los costos hechos para la construcción del prototipo vehicular eléctrico. Así como también los costos estimados para implementar en un futuro el sistema regenerativo de energía eléctrica. Asimismo se calcula el VAN, TIR y B/C





## SUMMARY.

In chapter I the methodological framework of our investigation is detailed, where we denote the justification to our research topic and we propose the general problem, specific problems, general hypothesis, specific hypotheses, dependent variables, independent variables. It is in this chapter that we base the reason for our research title called: "Construction of a three-wheel electric vehicle prototype optimizing its autonomy of travel through a regenerative system of electric energy"

In Chapter II he goes on to learn about the concepts related to electric vehicles, such as their systems: motorization, batteries, control, chassis and mechanical parts for transmission. We also studied some background related to this project. All this will help us to build the electric vehicle prototype.

In chapter III the dimensioning and construction of the electric vehicle prototype is done; this involves performing an energy sizing to obtain the power of the electric motor, and based on this calculate the amount of batteries required. Aerodynamic simulation is also performed to corroborate that our motor calculation is correct. It also makes a description of the fundamental parts that make up the design, such as: motor, batteries, controller, and efficiency

In chapter IV, the tests of conduction of the electric vehicle prototype are made, based on a format elaborated by us, these tests are of autonomy and of angular velocity, each one of them serves us to make later calculations.

In Chapter V the sizing of the regenerative system of electric energy is done, using some formulas of mechanical design and selecting equipment such as alternators and DC-DC converter.

In chapter VI the results analysis is done, this basically consists of demonstrating the percentage of increase of the autonomy, if it had installed the regenerative system of electrical energy. The test route is taken as the Juliaca - Lampa route and vice versa

Chapter VII details the costs made for the construction of the electric vehicle prototype.

As well as the estimated costs to implement in the future the regenerative system of electrical energy. It also calculates the NPV, TIR and B / C





## ÍNDICE GENERAL.

CARATULA.....	I
CARATULA.....	II
TESIS DE INVESTIGACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VIII

CAPITULO I.  
MARCO METODOLÓGICO.

1.1. TITULO.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	8
1.3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.3.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.3.3.1. PROBLEMA GENERAL:.....	10
1.3.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:.....	10
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL:.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	11
1.5. HIPÓTESIS:.....	11
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL:.....	11
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:.....	12
1.6. VARIABLES.....	12
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES:.....	12
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES:.....	12

CAPITULO II.  
MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	14
2.2. BASES TEÓRICAS.....	15
2.2.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	15





2.2.1.1.	VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO ENCHUFABLE (PHEV).	15
2.2.1.2.	VEHÍCULO ELÉCTRICO DE BATERÍA (BEV).	16
2.2.1.3.	VEHÍCULO ELÉCTRICO DE AUTONOMÍA EXTENDIDA (EREV).	16
2.2.1.4.	VEHÍCULO HÍBRIDOS ELÉCTRICOS.	17
2.2.2.	PROPULSIÓN ELÉCTRICA.	18
2.2.2.1.	PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	19
2.3.	EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.	21
2.3.1.	SISTEMA DE MOTORIZACIÓN.	21
2.3.1.1.	DISPOSICIÓN DE LOS MOTORES.	22
2.3.1.2.	CONDICIONAMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO.	23
2.3.1.3.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MOTORIZACIÓN.	23
2.3.1.4.	CARACTERÍSTICAS QUE AFECTAN AL DISEÑO DEL MOTOR Y A LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA.	24
2.3.1.5.	MOTOR ELÉCTRICO.	24
2.3.1.5.1.	MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.	25
2.3.1.5.2.	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.	27
2.3.1.5.3.	COMPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.	29
2.3.2.	BATERÍAS PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS.	31
2.3.2.1.	PARÁMETROS DE LAS BATERÍAS.	31
2.3.2.2.	TIPO DE BATERÍAS.	33
2.3.3.	CONTROL Y ETAPA DE POTENCIA.	35
2.3.3.1.	CONTROL ELECTRÓNICO DE UN MOTOR DC.	36
2.3.3.2.	CONTROL ELECTRÓNICO DE UN MOTOR AC.	37
2.3.4.	SISTEMA DE FRENADO.	38
2.3.4.1.	CONTRAMARCHA.	38
2.3.4.2.	FRENADO DINÁMICO.	39
2.3.4.3.	FRENADO REGENERATIVO.	39
2.3.5.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.	40
2.3.5.1.	MÉTODOS DE CARGA.	40
2.3.5.2.	CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CARGA PARA AUTOS ELÉCTRICOS.	43
2.3.5.3.	INSTRUMENTACIÓN EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.	45
2.3.6.	ELEMENTOS MECÁNICOS.	47
2.3.6.1.	PRESTACIONES DEL AUTOMÓVIL.	47
2.3.6.2.	TRANSMISIÓN.	47
2.3.6.3.	TRANSMISIÓN MECÁNICA (GRUPO CÓNICO DIFERENCIAL).	48
2.3.6.4.	TRASLACIÓN.	49



2.3.7. ESTRUCTURA Y CARROCERÍA.....	50
2.3.7.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BASTIDOR.....	50
2.3.7.2. DISEÑO DE LA CARROCERÍA.....	50

### CAPITULO III.

#### DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.

3.1. PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO TRES RUEDAS.....	52
3.2. DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.	52
3.3. POTENCIA REQUERIDA PARA EL AVANCE DEL PROTOTIPO.....	52
3.4. CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS.....	56
3.5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.....	59
3.5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	60
3.5.2. SIMULACIÓN AERODINÁMICA.....	61
3.5.3. SISTEMA DE MOTORIZACIÓN.....	62
3.5.4. BATERÍAS.....	66
3.5.5. CONTROLADOR.....	74
3.6. PAR DE TRACCIÓN EN LAS RUEDAS.....	78
3.7. EFICIENCIA.....	79
3.7.1. EFICIENCIA DEL PROTOTIPO VEHICULAR.....	79
3.7.2. EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO TEÓRICO.....	79

### CAPITULO IV.

#### PRUEBAS DE CONDUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.

4.1. RUTA PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE AUTONOMÍA.....	81
4.2. PRUEBA DE AUTONOMÍA.....	82
4.3. PRUEBA DE VELOCIDAD ANGULAR.....	84

### CAPITULO V.

#### CALCULO DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

5.1. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	88
5.2. SELECCIÓN DEL ALTERNADOR.....	91
5.3. MODULO DE CONTROL: CONVERTIDOR ELEVADOR DC-DC BOOST.....	93
5.4. INTENSIDAD GENERADA CON EL CONVERTIDOR DC-DC BOOST 1200 W 8-60 V A 12-83 V.....	95

## CAPITULO VI.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.1. TIEMPO DE RECARGA DEL PACK DE BATERÍAS.....	97
6.2. AUMENTO DE LA AUTONOMÍA CON EL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	98

## CAPITULO VII.

## ANÁLISIS ECONÓMICO.

7.1. COSTOS DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS.....	102
7.2. COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	104
7.3. CALCULO DEL VAN Y TIR.....	105

## CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.....	107
OBSERVACIONES.....	108
RECOMENDACIONES.....	108

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
---------------------------------	-----

ANEXOS. ....	111
--------------	-----

A1. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	112
A2. CHECK LIST DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO. ....	114
A3. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	116
A4. FOTOGRAFÍAS.....	117
A5. VIDEOS.....	120
A6. FICHAS TÉCNICAS.....	120
A7. PLANOS.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Tabla Comparativa entre los motores AC y DC.....	29
Tabla 2: Tabla comparativa de las características de los motores AC y DC.....	29
Tabla 3: Comparación motores eléctricos según su potencia en vehículos eléctricos.....	30
Tabla 4: Características de las baterías de Litio. (12).....	33
Tabla 5: Características de la batería de Níquel de Cadmio.....	34
Tabla 6: Características de la batería de Ion de Litio.....	34





Tabla 7: Comparación de Baterías.....	35
Tabla 8: Valores de potencias, velocidades, y resistencia total. ....	56
Tabla 9: Parámetros de precarga.....	68
Tabla 10: Parámetros de carga a corriente constante. ....	68
Tabla 11: Parámetros de carga a Voltaje constante.....	69
Tabla 12: Parámetros de Carga a goteo. (19).....	69
Tabla 13: Parámetros de carga flotador. ....	70
Tabla 14: Prueba de autonomía de prototipo vehicular eléctrico. ....	83
Tabla 15: Velocidad angular calculada para el alternador. ....	90
Tabla 16: Valores calculados de la intensidad generada por el alternador a diferentes velocidades. ....	92
Tabla 17: Corriente de los 02 convertidores elevadores DC -DC. ....	95
Tabla 18: Dato de tiempo de carga del pack de baterías con el cargador. ....	97
Tabla 19: Tiempo de horas necesarias para la recarga con el Sist. Regenerativo de energía eléctrica. ....	98
Tabla 20: Valores de % de aumento de la autonomía del prototipo vehicular eléctrico.....	99
Tabla 21: Cuadro resumen de tiempo de recarga, velocidades angulares, corrientes. ....	100

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (PHEV).....	16
Ilustración 2: Vehículo Eléctrico de Batería (BEV).....	16
Ilustración 3: Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV).....	17
Ilustración 4: Diagrama de bloque de HEV, sistema en serie .....	17
Ilustración 5: Diagrama de bloque de HEV, sistema paralelo .....	18
Ilustración 6: Diagrama de bloque de HEV, sistema combinado .....	18
Ilustración 7: Esquema primario de la propulsión en un vehículo eléctrico .....	18
Ilustración 8: Esquema general de un accionamiento de un vehículo eléctrico. ....	19
Ilustración 9: Esquema de un automóvil accionado con un solo motor. ....	19
Ilustración 10: Esquema de un automóvil accionado con motores independientes.....	20
Ilustración 11: Disposición de los diferentes sistemas en un automóvil eléctrico. ....	20
Ilustración 12: Descripción de las partes de un vehículo eléctrico. ....	20
Ilustración 13: Esquema simplificado de automóvil eléctrico. ....	21
Ilustración 14: Sistema motor-reductor-diferencial con la transmisión a dos ruedas.....	22
Ilustración 15: Sistema de dos motores-reductor conectados a las dos ruedas tractoras a través de ejes y juntas homocinéticas.....	22
Ilustración 16: Sistema de dos motores directamente aplicados a las ruedas tractoras.....	23
Ilustración 17: Circuito Equivalente Simplificado de la batería.....	31



Ilustración 18: Densidades de batería. ....	36
Ilustración 19: Transitorio de Corriente y Voltaje para un Cargador de V. C. ....	41
Ilustración 20: Transitorio del cargador de C.C. ....	42
Ilustración 21: Transitorio en el cargador combinado. ....	42
Ilustración 22: Forma de Onda del Cargador de Pulsos. ....	43
Ilustración 23: Partes del grupo cónico diferencial ....	49
Ilustración 24: Vista frontal del prototipo vehicular eléctrico. ....	54
Ilustración 25: Vista de ubicación del prototipo vehicular eléctrico frente a una pendiente. ....	54
Ilustración 26: Valores hallados para nuestra potencia requerida. ....	57
Ilustración 27: Chasis del prototipo vehicular eléctrico, hecho en Solid Works. ....	60
Ilustración 28: Fotografía del Chasis construido ....	61
Ilustración 29: Simulación aerodinámica en Solid Works ....	61
Ilustración 30: Piñón para acople al motor eléctrico. ....	65
Ilustración 31: Vista superior del árbol de transmisión. ....	65
Ilustración 32: Batería para el prototipo vehicular eléctrico. ....	66
Ilustración 33: Curva de carga y método. ....	67
Ilustración 34: Disposición de las baterías. ....	73
Ilustración 35: Circuito simplificado del controlador. ....	74
Ilustración 36: Controlador usado en el prototipo vehicular eléctrico. ....	77
Ilustración 37: Ruta de prueba de conducción ....	81
Ilustración 38: Grafica de la instalación de los alternadores y su modo de multiplicar la velocidad. ....	89
Ilustración 39: Instalación de los alternadores en conjunto con el árbol de transmisión. ....	90
Ilustración 40: Modulo del convertidor elevador DC - DC. ....	94
Ilustración 41: Partes del módulo convertidor elevador DC -DC. ....	94
Ilustración 42: Fotografía del momento en que adquirimos las ruedas ....	117
Ilustración 43: Fotografía de omentos en que realizamos el doblado del tubo ASTM A500 ....	117
Ilustración 44: Fotografía del momento del armado de la corona. ....	117
Ilustración 45: Fotografía del chasis montado con dirección y corona. ....	117
Ilustración 46: Momento en que hacemos trabajo de soldadura en el chasis. ....	118
Ilustración 47: Momento en que realizamos la instalación de las luces. ....	118
Ilustración 48: Baterías ya instaladas en el prototipo. ....	118
Ilustración 49: Vista posterior de la instalación de las luces. ....	118
Ilustración 50: Vista del tablero de instrumentos. ....	119
Ilustración 51: Prototipo listo para hacer pruebas. ....	119
Ilustración 52: Prototipo vehicular eléctrico en la ciudad de Lampa - Puno - Perú. ....	119



# CAPITULO I.

## MARCO

### METODOLÓGICO.



### 1.1. TÍTULO.

"CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA."

### 1.2. JUSTIFICACIÓN.

El aumento de demanda de vehículos eléctricos como medio de transporte está limitada por su costo elevado y su autonomía de recorrido, este último depende de la capacidad de acumulación de energía eléctrica de sus baterías; para lo cual se tienen que conectar a la red eléctrica para su recarga correspondiente y de otra manera se optimiza mediante el frenado regenerativo. Entonces se cree que es posible desarrollar un sistema alternativo de recarga para vehículos eléctricos, con la finalidad de aumentar su autonomía de recorrido, aprovechando la energía cinética del vehículo producida a través de su desplazamiento. Además se puede mencionar que el uso de los vehículos eléctricos como medio de transporte, mejora la calidad de vida de las ciudades, al ser limpio de contaminación directa.

Asimismo se cree, que con estas ideas en este trabajo se puede contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas al transporte y la reducción de la contaminación.

### 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

#### 1.3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

La humanidad en estos tiempos está enfrentando problemas que son de interés mutuo para todos, y el tema de mayor preocupación es el uso sostenible de los recursos; además ahora la industria de los automóviles está cuestionada principalmente por el tema de contaminación e eficiencia energética. Todo lo mencionado, ha ocasionado a que se desarrolle investigación e innovaciones para afrontar este cuestionamiento.

En el futuro la mayoría de gobiernos en el mundo se verán forzados a limitar el uso de los vehículos que emitan CO<sub>2</sub>, todo ello con la finalidad de mitigar el efecto invernadero.

Siendo ya el petróleo un recurso que no es abundante como lo era en el pasado, lo que ocasiona ahora es que se eleve su precio y esta tenga una inestabilidad en su costo por los conflictos políticos que tienen los países productores. Además la humanidad está tomando cierta consciencia de compra, esto referido al lado ambientalista, tomando decisiones de compra donde los vehículos adquiridos sean de menor impacto de contaminación en el planeta. Estas condiciones mencionadas llevan a los fabricantes de vehículos a invertir fortunas de dinero en el desarrollo alternativo de vehículos eléctricos, para que estos puedan ser competitivos en un mercado donde la mayoría son los vehículos de combustión interna.

Los vehículos eléctricos ya existían hace más de cien años. En la Exposición Universal de 1900, Ferdinand Porsche presentó un automóvil eléctrico que había diseñado con motivo de aquel destacado acontecimiento. A pesar de este comienzo prometedor en la industria automotriz, la producción de vehículos eléctricos se desfasó completamente debido a las ventajas que comenzaron a tener los vehículos de combustión interna. Por fortuna los sistemas de tracción eléctrica siguieron desarrollándose en aplicaciones que no eran automotrices. Debido a sus ventajas en cuanto a desarrollo de potencia y eficiencia; apoderándose de muchos campos de la industria.

Gracias al desarrollo de la electrónica de potencia en la segunda mitad del siglo XX, se ha podido controlar la velocidad y torque de los motores sin comprometer la eficiencia de estos.

Sin embargo los estudios y construcción de vehículos eléctricos que se están desarrollando actualmente se basan en un sistema de acumuladores de energía eléctrica a base de baterías que son recargadas por las redes eléctricas en baja tensión. No tomándose en cuenta las muchas maneras de aprovechar las energías que puede producir un vehículo a través de su movimiento. Como por ejemplo la energía cinética del automóvil producida mediante su desplazamiento.

### **1.3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

La falta de desarrollo de un sistema regenerativo de energía eléctrica para optimizar la autonomía de recorrido de vehículos eléctricos, es una barrera que limita su masificación e investigación para mejoras posteriores.

### 1.3.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

#### 1.3.3.1. PROBLEMA GENERAL:

**P.G.:** ¿De qué manera se puede construir un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica?

#### 1.3.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:

**P.E.1:**

¿De qué forma se puede aprovechar la energía cinética del prototipo vehicular eléctrico producida en su movimiento?

**P.E.2:**

¿Cómo se podría validar la optimización de la autonomía de recorrido de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica?

**P.E.3:**

¿Cuál es la diferencia en autonomía de un vehículo eléctrico convencional con uno que tiene un sistema regenerativo?

**P.E.4:**

¿A cuánto asciende el costo de la construcción de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica?

### 1.4. OBJETIVOS.

#### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

**O.G.:** Construir un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica.

#### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

##### O.E.1:

Aprovechar la energía cinética del prototipo vehicular eléctrico producida en su movimiento.

##### O.E.2:

Validar la optimización de la autonomía de recorrido de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica.

##### O.E.3:

Diferenciar la autonomía de un prototipo vehicular eléctrico convencional con uno que tiene un sistema regenerativo.

##### O.E.4:

Calcular el costo de la construcción de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica.

#### 1.5. HIPÓTESIS:

##### 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL:

Si se construye un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica. Entonces, para esta construcción se empleara materiales locales, como son tubos de acero para el chasis, transmisión tipo diferencial (corona, cardan y palier), adecuación de frenos mecánicos, llantas de aro 14, y también se dimensionara para el prototipo un kit de conversión que será comprado en el extranjero, así como también se empleara cables de energía; todos estos materiales se instalaran y usaran en el prototipo vehicular electico. Y al implementar el sistema regenerativo de energía eléctrica se lograra disminuir los costos de recarga y un aumento de su autonomía de recorrido para la satisfacción del usuario. Siendo así la U.A.N.C.V. pionera en el desarrollo de esta tecnología en nuestro país.



### 1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

#### H.E.1:

Si se aprovecha la energía cinética del prototipo vehicular eléctrico producida en su movimiento, entonces se podrá obtener energía eléctrica para su regeneración de carga de la batería, convirtiendo al vehículo mucho más autónomo en comparación con los demás vehículos eléctricos convencionales.

#### H.E.2:

Si se valida la optimización de la autonomía de recorrido de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica. Entonces se habrá descubierto un nuevo sistema regenerativo de energía eléctrica.

#### H.E.3:

Si se diferencia la autonomía de un prototipo vehicular eléctrico convencional con uno que tiene un sistema regenerativo. Entonces podremos definir las ventajas y desventajas del vehículo implementado con este sistema.

#### H.E.4:

Si se calcula el costo de la construcción de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas optimizando su autonomía de recorrido mediante un sistema regenerativo de energía eléctrica. Entonces sabremos el presupuesto total de todo el sistema de prototipo a realizar y un presupuesto tentativo de venta para el mercado nacional.

### 1.6. VARIABLES.

#### 1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Velocidad máxima (r.p.m.)
- Baterías
- Peso del vehículo
- Inversor DC-AC.
- r.p.m. del eje cardan.

#### 1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES:

- Autonomía
- Potencia del motor
- Corriente que se ha de suministrar.
- r.p.m. del eje del alternador.



# **CAPITULO II.**

# **MARCO TEÓRICO.**

## 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

- **TESIS: PROPUESTA DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA USO PRIVADO EN LIMA METROPOLITANA:** Pontificia Universidad Católica del Perú. La presente tesis se busca definir el tipo de vehículo eléctrico adecuado para los requerimientos de un usuario privado típico de Lima Metropolitana y determinar las principales características de los sistemas técnicos que debe utilizar el mismo; donde también se hace una comparación de uso de un vehículo eléctrico y uno de gasolina requerido con u Este trabajo de investigación fue realizada en el año 2014.
- **TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO CON VARIADOR DE VELOCIDAD MEDIANTE UN CONVERTIDOR CD – CD:** Universidad Tecnológica de Mixeca. En esta tesis se diseña y construye un vehículo eléctrico monoplaza accionado por un sistema electrónico de potencia con el cual se regula la velocidad de un motor de corriente directa (CD). Se construyó un chasis para probar el sistema electrónico, donde sus dimensiones son de 0.90 X 1.40 m, y se realizaron pruebas con cargas de 200 kg. Este trabajo fue realizado en el año 2009.
- **TESIS: VARGAS JA. CONVERSIÓN A AUTO ELÉCTRICO BASADA EN UN ACCIONAMIENTO TRIFÁSICO: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN, MODELACIÓN.** Universidad de Chile. El presente trabajo de título trata sobre la conversión de un vehículo de combustión interna a eléctrico en sus etapas de diseño, modelación e implementación, el que se encontrara disponible para realizar estudios sobre los impactos que tendrá la movilidad eléctrica en el transporte comercial. Junto con la conversión a auto eléctrico, también incluye el desarrollo de un controlador de motor de inducción utilizando un inversor de potencia comercial, uno de los módulos de mayor valor agregado en la integración de los distintos sistemas que conforman un vehículo eléctrico.
- **TESIS V. CASTAÑEDA. LUFKE I: AUTO RECICLADO CON TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE.** Universidad de Chile. Esta tesis trata en primer lugar una recopilación de datos del estado del

arte de los vehículos eléctricos y sus tecnologías, el que identifica los tipos de componentes necesarios en la creación, construcción y conversión de vehículos eléctricos. Esta recopilación bibliográfica constituye la base sobre la cual se propone un manual de conversión a tracción eléctrica de vehículos, destinado a documentar todos los conocimientos y experiencias adquiridos en el proyecto "Lüfke I". Este manual permite observar las alternativas y formas de proceder en la conversión, enfatizando las precauciones y cuidados debidos.

Una segunda etapa de esta tesis constituye el estudio del funcionamiento eléctrico y mecánico del vehículo eléctrico convertido. El estudio del funcionamiento eléctrico se focaliza en explicar un fenómeno de sobre voltaje observado en la etapa de pruebas del sistema. El estudio del funcionamiento eléctrico incluye la modelación del circuito de tracción eléctrica del vehículo, el que incluye el banco de baterías, motor, controlador de potencia y conexiones asociadas. Por su parte, el estudio del funcionamiento mecánico se basa en un modelo mecánico cinemático básico, capaz de simular su operación y detectar limitaciones técnicas, tales como su velocidad máxima y pendiente límite.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.**

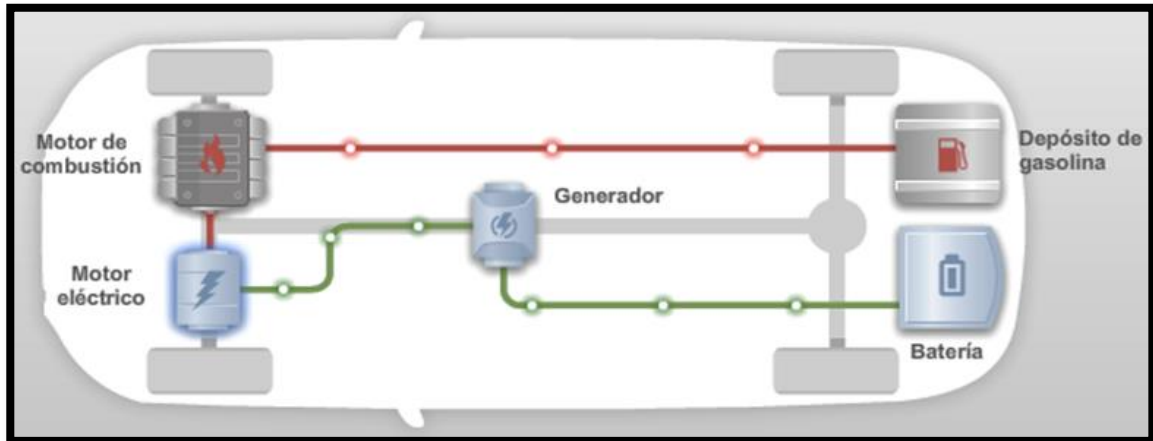
Se entiende por vehículos eléctricos aquellos que están propulsados total o parcialmente por energía eléctrica, procedente de baterías que se recargan en la red eléctrica. Estos vehículos se pueden clasificar dentro de las siguientes familias. (1)

#### **2.2.1.1. VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO ENCHUFABLE (PHEV).**

Esta familia de vehículos combina un motor de combustión interna (MCI) con una batería y un motor eléctrico. El MCI y/o el motor eléctrico impulsan el vehículo en una configuración paralela. Cohabitan dos fuentes exteriores de energías, provenientes de los combustibles que permiten mover el motor térmico, y de la electricidad suministrada por la red que permite recargar la batería. (1)



Ilustración 1: Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (PHEV)

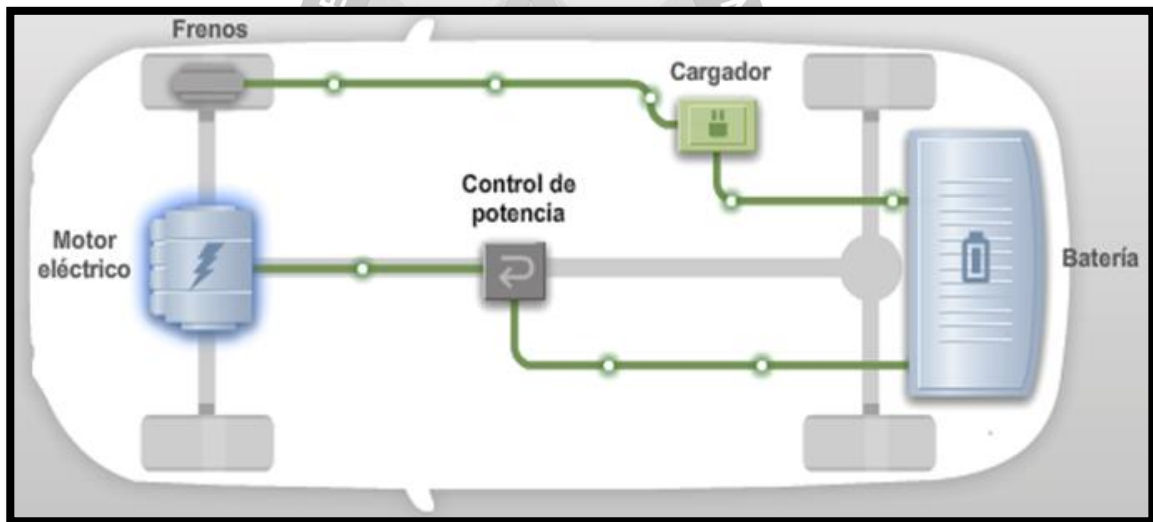


Fuente: <http://es.slideshare.net>

#### 2.2.1.2. VEHÍCULO ELÉCTRICO DE BATERÍA (BEV).

Estos vehículos están propulsados únicamente por un motor eléctrico. La fuente de energía proviene de la electricidad almacenada en la batería que se debe cargar a través de la red. (1)

Ilustración 2: Vehículo Eléctrico de Batería (BEV)

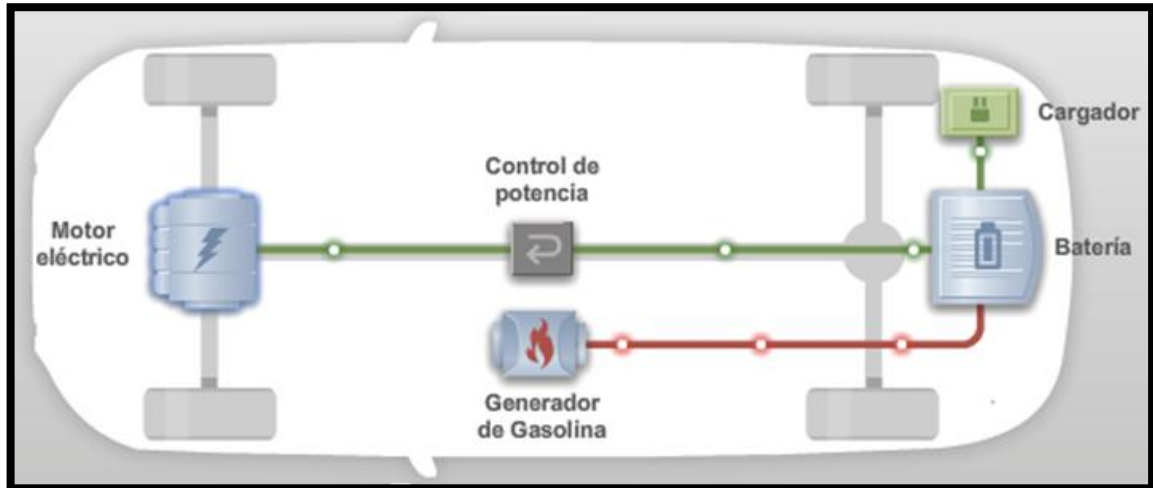


Fuente: <http://es.slideshare.net>

#### 2.2.1.3. VEHÍCULO ELÉCTRICO DE AUTONOMÍA EXTENDIDA (EREV).

Tienen las mismas características que los vehículos eléctricos de batería pero llevan además un motor de combustión interna (MCI) (que es otra fuente secundaria) que funciona como un generador interno que recarga las baterías permitiendo aumentar la autonomía del vehículo. (1)

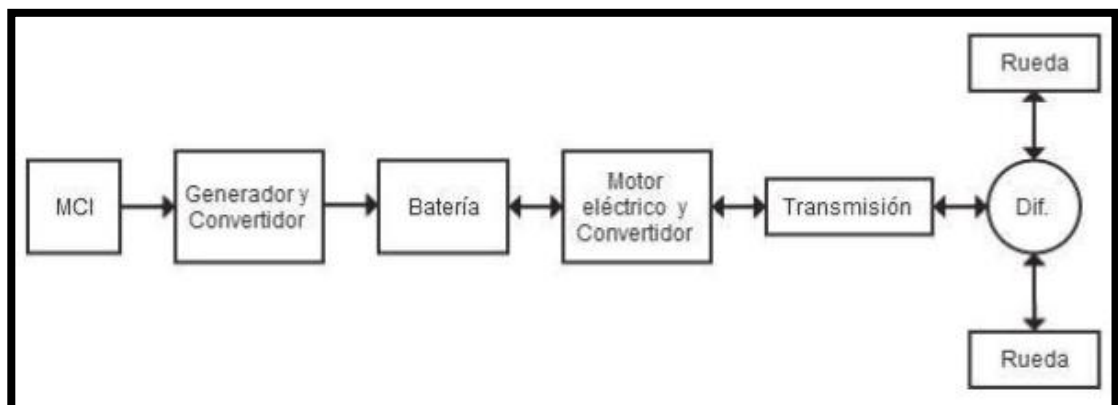
Ilustración 3: Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV)

Fuente: <http://es.slideshare.net>

#### 2.2.1.4. VEHÍCULO HÍBRIDOS ELÉCTRICOS.

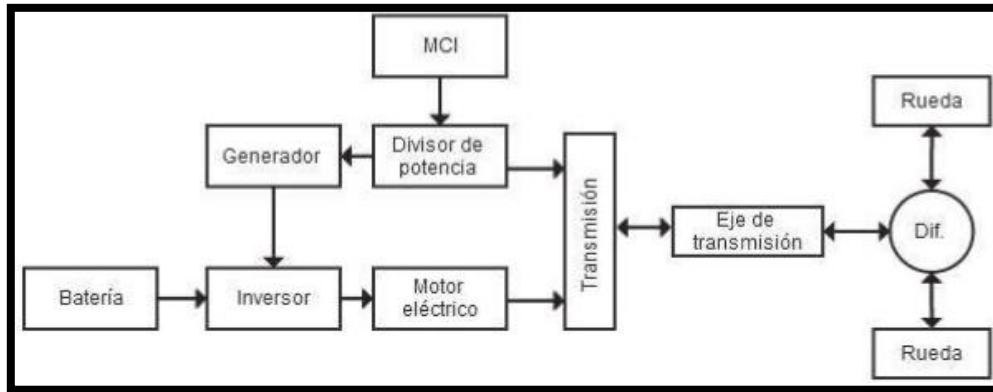
Los vehículos híbridos eléctricos son vehículos que tienen dos o más fuentes de energía para ser impulsados, usualmente se utiliza un motor eléctrico y además un motor de combustión interna. Estos vehículos se caracterizan por ahorrar energía y tener un bajo nivel de emisiones, en comparación con un vehículo convencional. En el HEV el motor de combustión interna permite recorrer largas distancias, mientras que el motor eléctrico aumenta la eficiencia y permite el ahorro de combustibles fósiles, ya que regenera energía durante el tiempo de frenado y almacena la energía que se genera en exceso en el Motor de Combustión Interna durante el tiempo que el vehículo está detenido, posteriormente esta energía almacenada es utilizada por el motor eléctrico para propulsar el vehículo. Se clasifican según su configuración que puede ser serie, paralelo y combinado. (3)

Ilustración 4: Diagrama de bloque de HEV, sistema en serie (3)



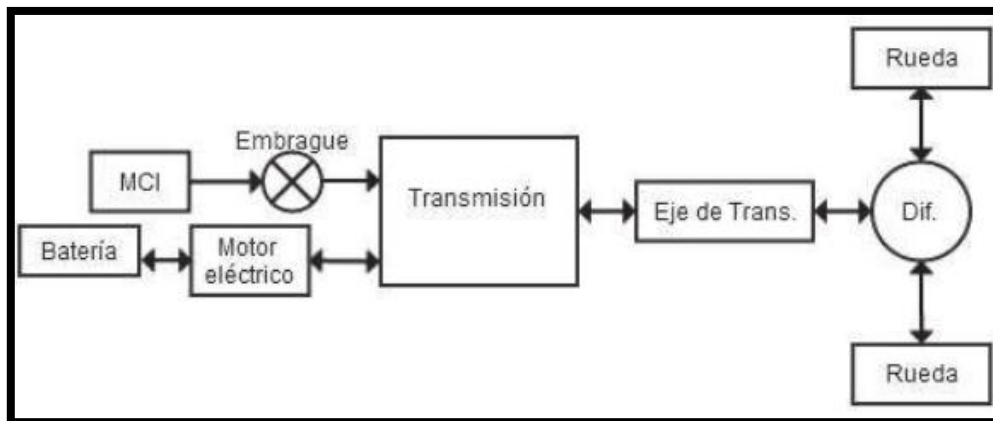
Fuente: Zuñiga Larco, Victor Andres

Ilustración 5: Diagrama de bloque de HEV, sistema paralelo



Fuente: Zuñiga Larco, Victor Andres

Ilustración 6: Diagrama de bloque de HEV, sistema combinado

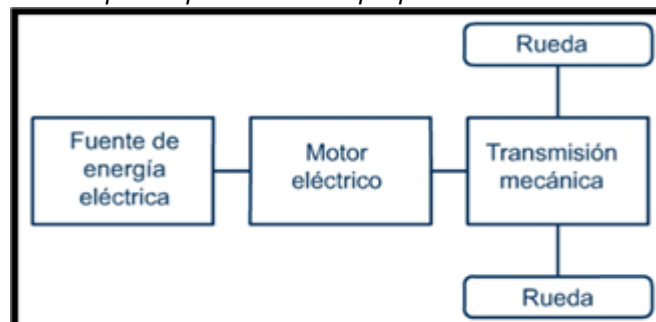


Fuente: Zuñiga Larco, Victor Andres

## 2.2.2. PROPULSIÓN ELÉCTRICA.

Es la interfaz entre las baterías y las ruedas del vehículo, transfiriendo energía en la dirección requerida, con alta eficiencia y controlando la etapa de potencia todo el tiempo. Puede ser dividido en 2 partes: eléctrico y mecánico. La parte eléctrica incluye el motor, convertidor de potencia, y el controlador electrónico. La parte mecánica se forma por el dispositivo de transmisión y las ruedas. El límite entre las partes eléctrica y mecánica es el núcleo del motor, donde la conversión de energía electromecánica toma lugar. (4)

Ilustración 7: Esquema primario de la propulsión en un vehículo eléctrico

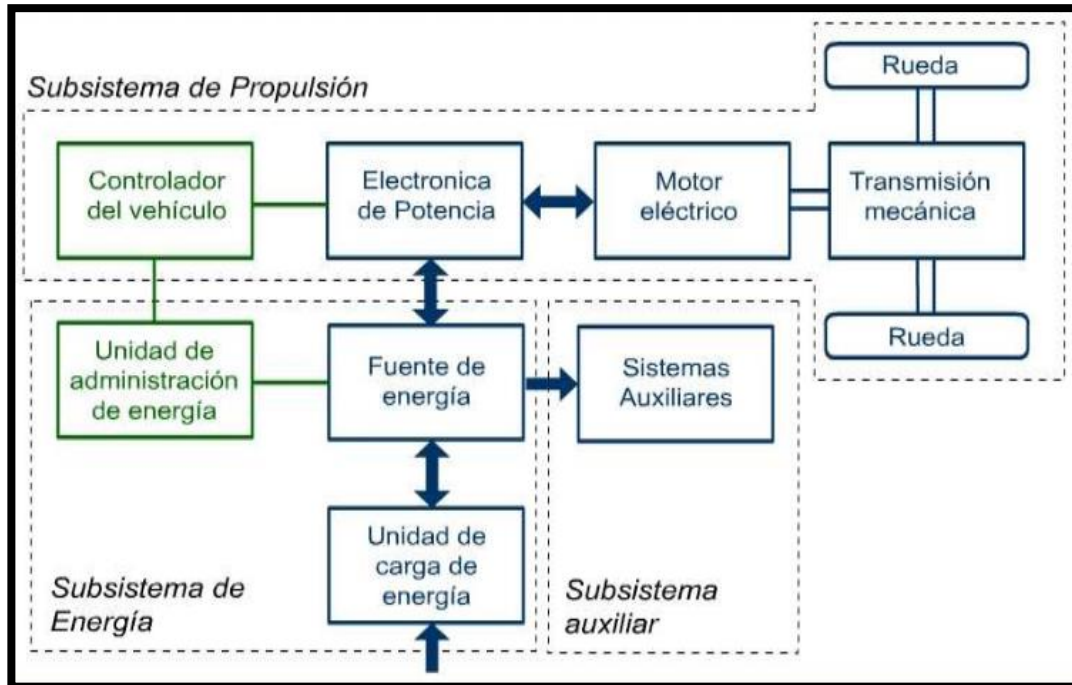


Fuente: Soto Sepulveda, Eduardo Andres

### 2.2.2.1. PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Para detallar aún más el funcionamiento de un vehículo eléctrico se presenta a continuación un esquema general de los sistemas de propulsión, energía y sistemas auxiliares. (5).

*Ilustración 8: Esquema general de un accionamiento de un vehículo eléctrico.*

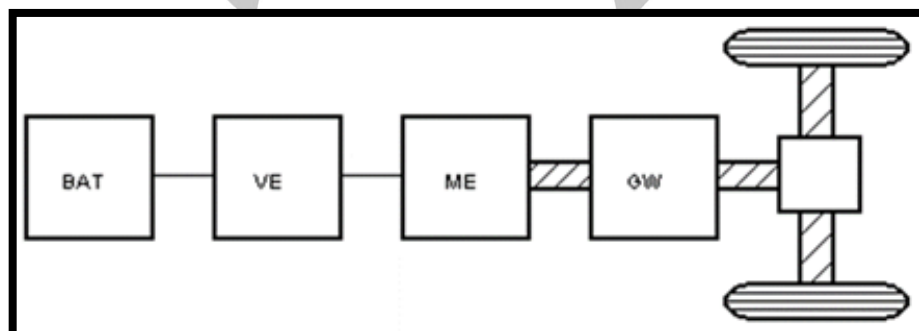


*Fuente: Soto Sepulveda, Eduardo Andres*

Hoy en día podemos establecer una segunda división entre el esquema principal que se pueden dar en la construcción de los automóviles eléctricos:

- Automóviles dotados de un sólo motor.

*Ilustración 9: Esquema de un automóvil accionado con un solo motor.*

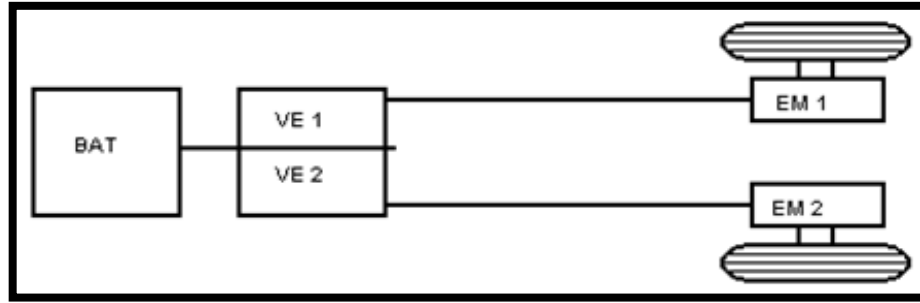


*Fuente: Larrode Pellicer, Emilio*

- Automóviles con motores integrados en las ruedas y la transmisión se realiza por control electrónico.

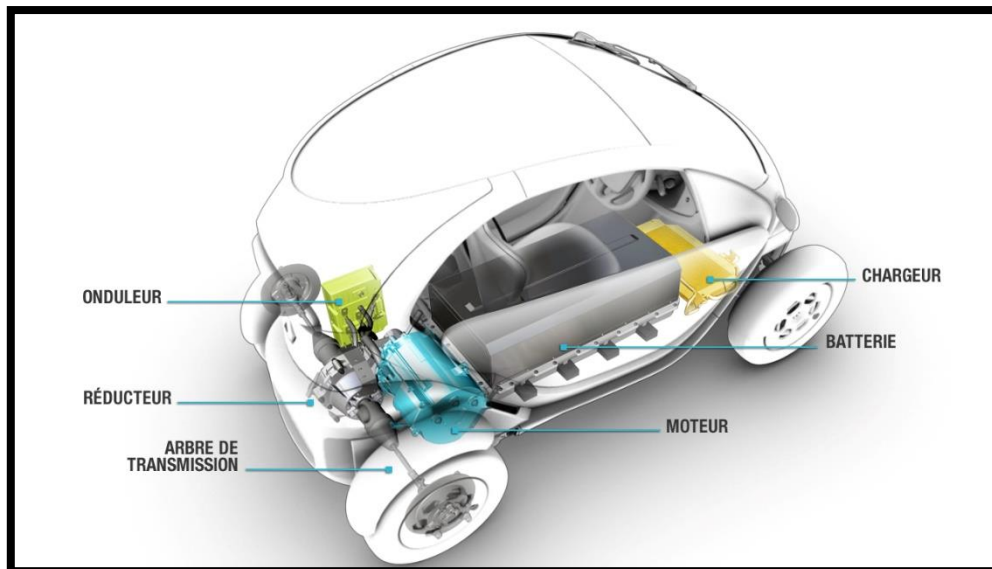


Ilustración 10: Esquema de un automóvil accionado con motores independientes.



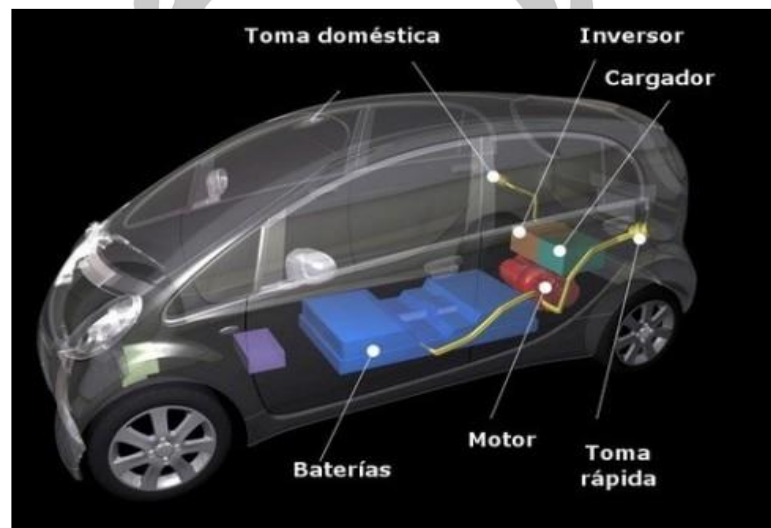
Fuente: Larrode Pellicer, Emilio

Ilustración 11: Disposición de los diferentes sistemas en un automóvil eléctrico. (6)



Fuente: <http://blogs.elpais.com/>

Ilustración 12: Descripción de las partes de un vehículo eléctrico.



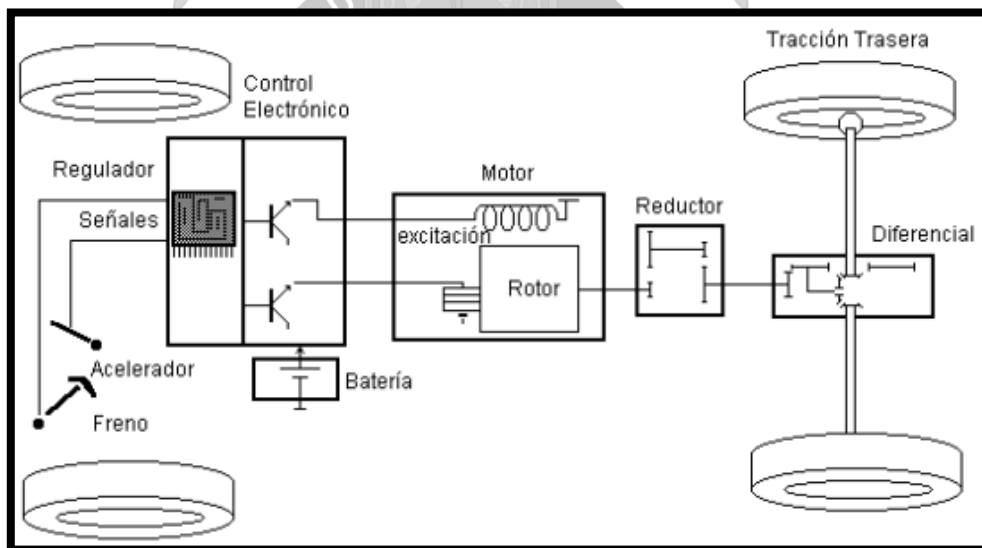
Fuente: Vehiculos Electricos

## 2.3. EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.

El automóvil eléctrico está básicamente formado por los siguientes sistemas que por su importancia van a ser estudiados por separado cada uno de ellos (8), y son:

- Sistema de Motorización.
- Baterías.
- Control y Etapa de Potencia.
- Sistema de Freno Eléctrico.
- Sistema de Alimentación
- Elementos mecánicos.
- Carrocería y Chasis.

*Ilustración 13: Esquema simplificado de automóvil eléctrico.*



*Fuente: Larrode Pellicer, Emilio*

### 2.3.1. SISTEMA DE MOTORIZACIÓN.

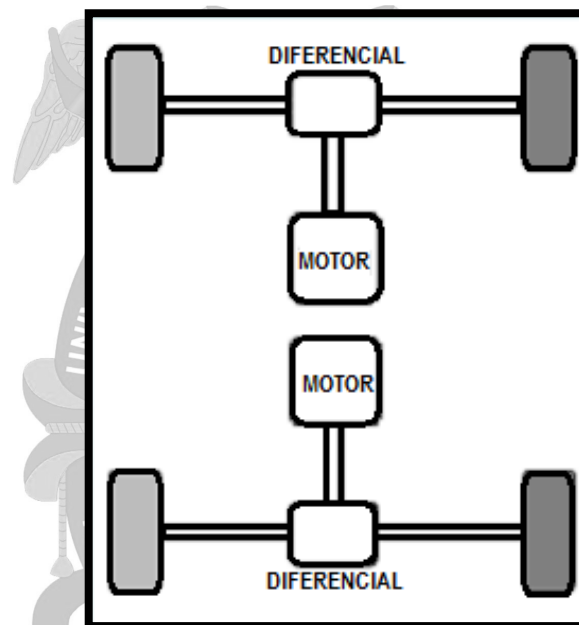
El sistema de motorización, se compone del motor o los motores que accionan el vehículo. Dependiendo de las características del vehículo y de las prestaciones que se le quieran conferir, se elegirán entre los diferentes tipos de motores. La elección del tipo motor eléctrico va a ser función de las prestaciones del vehículo y del control seleccionado. (8)

### 2.3.1.1. DISPOSICIÓN DE LOS MOTORES.

Atendiendo a la disposición del motor dentro del vehículo, existen varias posibilidades que influyen en el diseño de la transmisión. Las podemos enumerar como sigue:

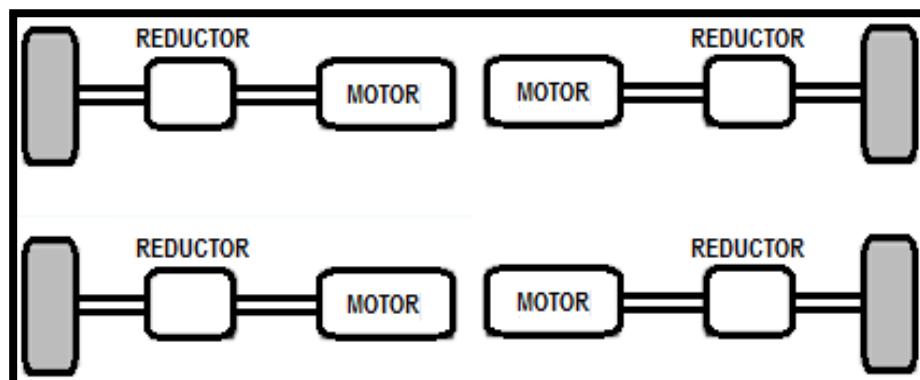
- Sistema motor-reductor-diferencial con la transmisión a dos ruedas. (8)
- Sistema de dos motores-reductor conectados a las dos ruedas tractoras a través de ejes y juntas homocinéticas. (8)
- Sistema de dos motores directamente aplicados a las ruedas tractoras que están sujetas al rotor del motor, tendrán la forma de disco. (8)

*Ilustración 14: Sistema motor-reductor-diferencial con la transmisión a dos ruedas.*



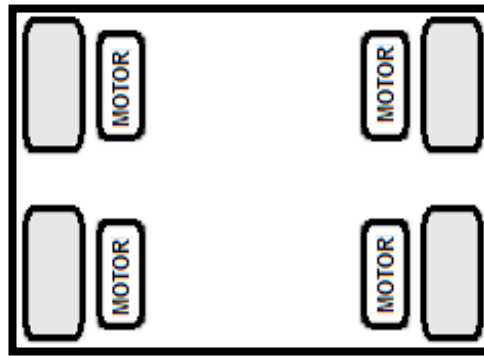
*Fuente: Larrode Pellicer, Emilio*

*Ilustración 15: Sistema de dos motores-reductor conectados a las dos ruedas tractoras a través de ejes y juntas homocinéticas.*



*Fuente: Larrode Pellicer, Emilio*

*Ilustración 16: Sistema de dos motores directamente aplicados a las ruedas tractoras que están sujetas al rotor del motor, que en este caso será de forma de disco.*



*Fuente: Larrode Pellicer, Emilio*

### 2.3.1.2. CONDICIONAMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO.

Para cualquier velocidad en un motor eléctrico la potencia viene dada por el producto entre el par y la velocidad.

$$P = M * n \quad (1)$$

Dónde: P=Potencia del motor.

M=Par motor.

n=Velocidad (rpm)

Examinando la ecuación, se ve que en caso se tenga un reductor de velocidad, para la misma potencia, se podrá obtener un alto par a una baja velocidad e inversamente; en el caso de tener un motor aplicado directamente a la rueda, la velocidad ya viene impuesta por el motor.

### 2.3.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MOTORIZACIÓN.

Los factores principales que influyen en el tipo de motorización son los siguientes:

- a) La curva característica par-velocidad requerida en régimen permanente (a velocidad constante) y la curva característica requerida en condiciones de sobrecarga.
- b) Disposición del motor y tipo de transmisión cinemática.
- c) Prestaciones desde el punto de vista de la conductibilidad, confort y manejabilidad.
- d) Robustez y problemas de mantenimiento.
- e) Posibilidades de transmisiones complejas.
- f) Rendimiento del motor.



Los factores anteriores influyen en las decisiones sobre el tipo de motorización:

- a) La elección del tipo de motor.
- b) La elección del tipo de control.
- c) Los criterios de dimensionamiento para los componentes del sistema de control.

#### **2.3.1.4. CARACTERÍSTICAS QUE AFECTAN AL DISEÑO DEL MOTOR Y A LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA.**

Con respecto al motor las más importantes son:

- ✓ La velocidad del motor que afecta a su peso.
- ✓ La eficiencia del motor, que afecta a su peso y a la refrigeración
- ✓ La definición de las prestaciones eléctricas y mecánicas
- ✓ La definición de la relación entre potencia y la influencia de la temperatura

Con respecto a la electrónica de potencia:

- ✓ Elección del nivel de voltaje en las baterías
- ✓ Elección del tipo de motor
- ✓ Elección del tipo de regulación y control
- ✓ Elección de la estructura del circuito electrónico de potencia.

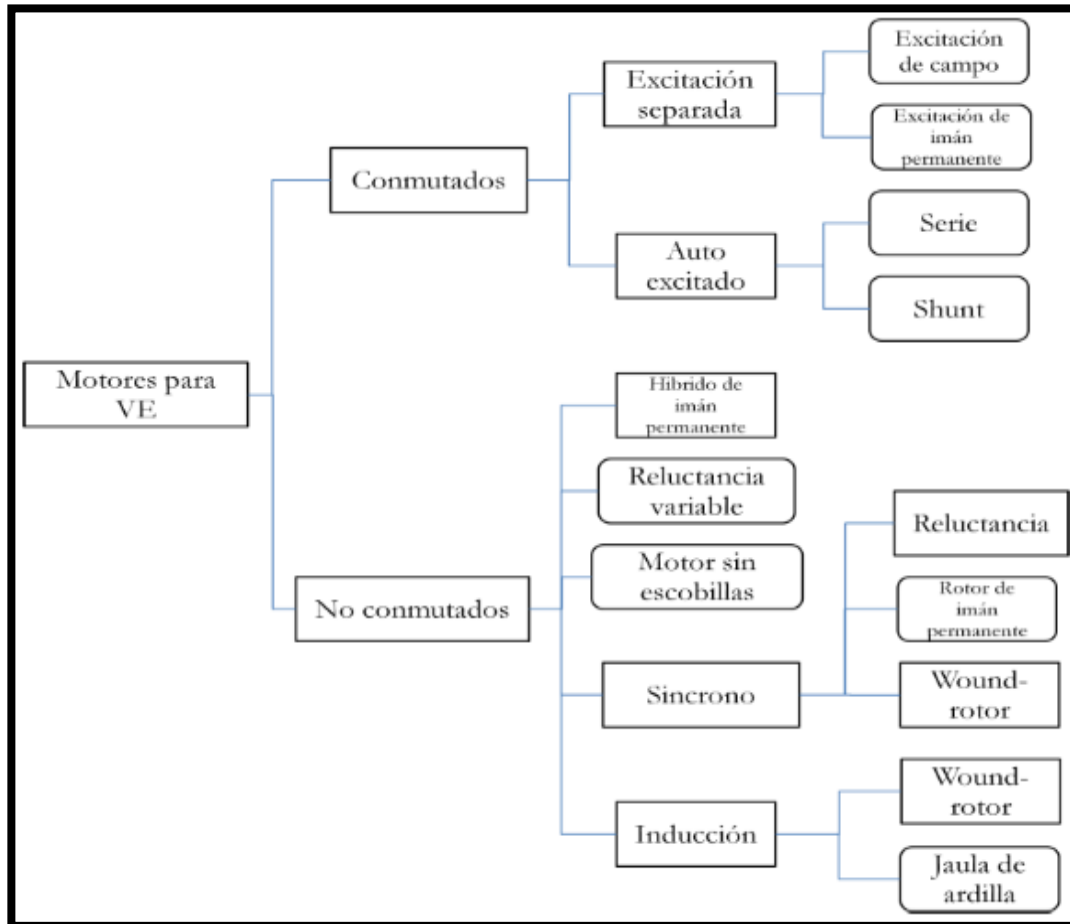
#### **2.3.1.5. MOTOR ELÉCTRICO.**

Para la elección del motor más apropiado, los factores más condicionantes son: Par, peso, tamaño, rendimiento; tipo de refrigeración, ruido, mantenimiento, seguridad, coste.

Existen otros de carácter indirecto, como son: Niveles de tensión, tipo de transmisión, requerimientos de instalación en el vehículo.

Los tipos de motores eléctricos empleados en los vehículos eléctricos se muestran en el cuadro siguiente:

Diagrama 1: Clasificación de los motores para vehículos eléctricos (9).



Fuente: Holona Academic Institute of Technology

#### 2.3.1.5.1. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

La utilización de motores de corriente continua viene dada por sus grandes pares de arranque, y el margen de regulación de su velocidad que lo hace ideal para la propulsión de vehículos eléctricos. Además de esto, tanto la alimentación como la regulación de su velocidad son procedimientos muy sencillos y económicos. El funcionamiento es análogo al de un motor de arranque convencional, en donde batería alimenta al estator y al colector del rotor. La diferencia es únicamente el tamaño y el sistema de refrigeración, el cual está suprimido en el motor de arranque. (8)

Las ecuaciones generales que definen el comportamiento de un motor de corriente continua, independientemente del tipo de excitación son:

$$E = K * N * \phi \quad (2)$$

Siendo: E = Fuerza contra electromotriz

$K$  = Constante del motor para la fuerza electromotriz.

$N$  = Numero de vueltas por minuto.

$\Phi$  = Flujo magnético inducido.

$$M = K_1 * I * \phi \quad (3)$$

Siendo:  $M$  = Par mecánico del motor.

$K_1$  = Constante del motor para el par.

$I$  = Intensidad del inducido.

La tensión  $U$  que se aplica al motor es contrarrestado por la fuerza contra electromotriz y las pérdidas óhmicas.

$$U = E + I * r \quad (4)$$

De donde:

$$E = U - I * r \quad (5)$$

Y teniendo presentes las anteriores se deduce que:

$$N = (U - I * r) / (K * \phi) \quad (6)$$

Algunos de los motores eléctricos de corriente continua más utilizados en los vehículos eléctricos son:

- **MOTORES DE IMANES PERMANENTES.** Estos motores están siendo universalmente empleados en pequeños vehículos eléctricos con potencias hasta 2 kW. Son motores muy eficientes y de muy fácil control, no están adecuados para potencia constante, aunque si para alta velocidad debido a que su campo no puede ser controlado, además su capacidad de sobrecarga está limitada ya que los imanes permanentes son sensibles a altas temperaturas y corrientes. (8)
- **MOTOR SERIE.** Son los motores de tracción tradicionales. Son motores simples y robustos que ofrecen un par elevado de una baja velocidad permanecen siendo unos motores muy populares para los vehículos eléctricos debido a su libertad y facilidad de control y su elevado rendimiento. La desventaja principal es que el frenado regenerativo requiere el uso de un contactor, además el debilitamiento

del campo puede hacerse normalmente solo pasos discretos, mediante un shuntado del campo sinusoidal. (8)

- **MOTOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE.** En estos motores donde el campo y la corriente está controlados independientemente uno de otro, han llegado a ser populares desde la llegada de rápidos controladores electrónicos. Requieren un circuito de control electrónico muy sensitivo para que la operación sea eficiente y estable, con estos motores el frenado regenerativo puede ser implementado muy fácilmente. (8)
- **MOTOR SÍNCRONO BRUSHLESS DE CORRIENTE CONTINUA.** Este motor se alimenta con una corriente de onda cuadrada. La forma de la onda de corriente determina el controlador del motor (el inversor), la ventaja es que se obtiene una mayor corriente integrada y por lo tanto un mayor par máximo. La desventaja es un mayor número de armónicos en la corriente, mayor ruido y un riesgo de pulsaciones en el par. (8)

#### 2.3.1.5.2. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

La ecuación de velocidad de sincronismo de un motor de corriente alterna es:

$$n_1 = \frac{120 * f_1}{p} \quad (7)$$

Siendo:  $n_1$  = Velocidad de sincronismo (r.p.m.)

$f_1$  = Frecuencia de la red (Hz)

$p$  = Numero de polos.

Los motores síncronos giran siempre a la velocidad de sincronismo. Por esto, para regular su velocidad, se debe de controlar la frecuencia de alimentación o, más raramente, el número de polos. La velocidad de un motor asíncrono es algo menor que la velocidad de sincronismo. La relación es la siguiente: (8)

$$n = \left(1 - \frac{s}{100}\right) n_1 \quad (\text{Rpm}) \quad (8)$$



Siendo:  $n$  = Velocidad del motor (r.p.m.)

$S$  = Deslizamiento (en %)

El deslizamiento depende de la carga y es otro factor que podemos controlar para regular la velocidad de un motor asíncrono.

- **MOTOR ASÍNCRONO DE JAULA DE ARDILLA.** Es robusto y tiene un bajo coste, puede operar a altas revoluciones con un tamaño reducido, requiere altas corrientes debido a los bajos factores de potencia que tiene. Su rendimiento es superior al de otros motores de corriente continua, pero inferior al de los motores síncronos. Son los motores que más ampliamente han sido utilizados en vehículos eléctricos. (8)
- **MOTOR SÍNCRONO DE EXCITACIÓN SEPARADA.** Tiene situado el bobinado de excitación en el rotor, de modo que puede alimentarse a partir de un excitador Brushless. Tiene una buena curva de par y es comparable en tamaño con el motor asíncrono, el rendimiento es alto, aunque tiene un coste elevado. (8)
- **MOTOR SÍNCRONO DE IMANES PERMANENTES.** Tiene un alto rendimiento, además de una alta relación par/peso. Su mayor desventaja es el alto coste de los imanes permanentes. El estator es similar al de un motor de inducción polifásico. Los imanes permanentes están localizados en el rotor y generalmente la orientación del flujo por ellos producido es radial o bien circunferencial.
- **MOTOR SÍNCRONO DE RELUCTANCIA VARIABLE.** Es similar al motor síncrono de imanes permanentes, excepto que no tiene un bobinado en el rotor. El rotor concentra el flujo magnético en las regiones de los polos con el fin de que se pueda transferir el par. Como el motor asíncrono, este motor es excitado por una corriente estatorica.

- **MOTORES ESPECIALES.** Son los motores paso a paso y los motores de flujo transversal, pueden usarse para aplicaciones en vehículos, sin embargo requieren de controladores especiales.

### 2.3.1.5.3. COMPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.

Realizando una comparación entre los motores vistos anteriormente en cuanto a algunas características más influyentes a la hora de aplicarlos a la tracción en automóviles eléctricos, se muestran tablas comparativas, como son:

Tabla 1: Tabla Comparativa entre los motores AC y DC.

Motor de Corriente Alterna (AC)	Motor de Corriente Continua (DC)
Diseño para velocidad única	Diseño para Multi-Velocidad
Baja relación peso/potencia (livianos)	Alta relación peso/potencia (pesados)
Bajo costo	Mediano costo
95% de eficiencia a carga completa	85-95% de eficiencia a carga completa
Controlador complejo y de alto costo	Controlador simple y de bajo costo
Sistema Motor-Controlador-Inversor de alto costo	Sistema Motor-Controlador de bajo costo

Fuente: Institute, Advanced Transportation Technology

Tabla 2: Tabla comparativa de las características de los motores AC y DC.

Características	Motor DC c/escobillas	Motor DC s/escobillas (con imán permanente)	Motor de Inducción AC
Eficiencia	85-89%	95-97%	94-95%
Eficiencia con el 10% de Carga	80-87%	73-82%	93-94%
Máxima RPM	4000-6000	4000-10000	9000-15000
Costo por HP en eje	US\$ 100-150	US\$ 100-130	US\$ 50-75
Relación Costo Controlador/ Costo motor	1	3-5	6-8

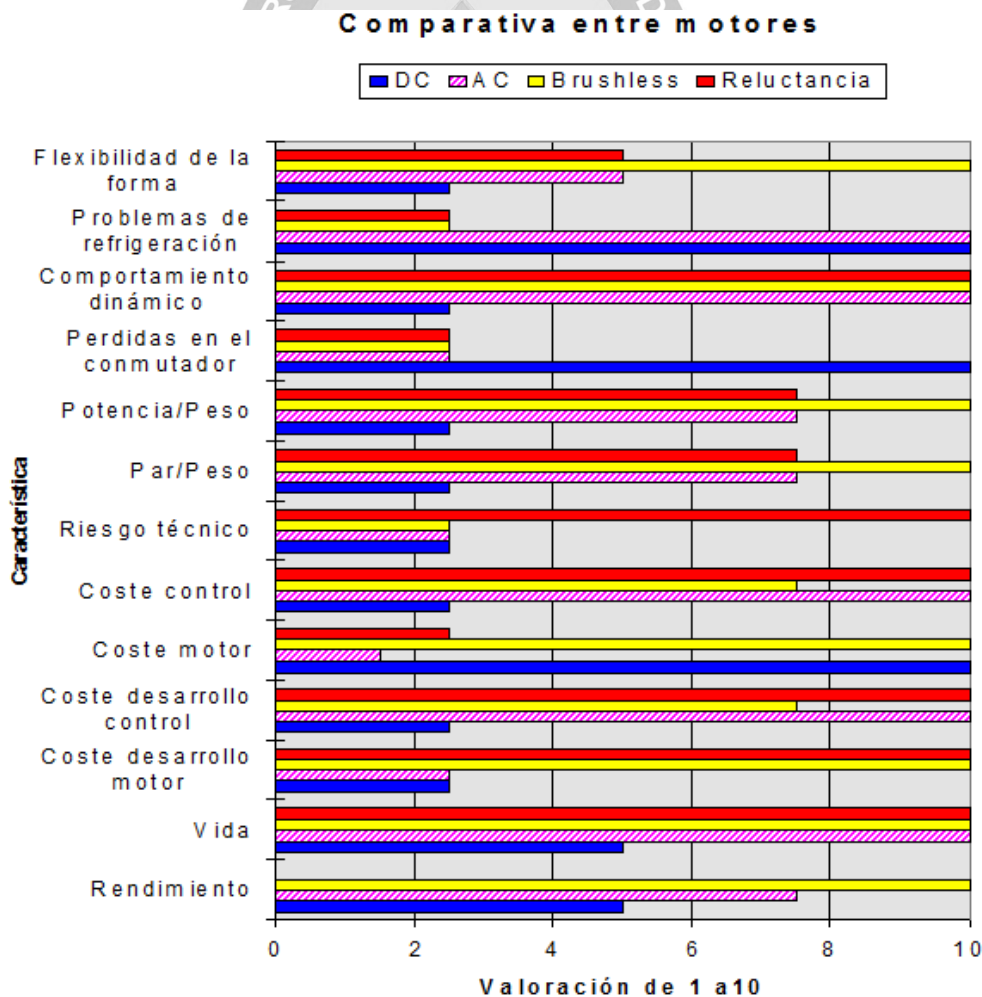
Fuente: Institute, Advanced Transportation Technology

Tabla 3: Comparación motores eléctricos según su potencia en vehículos eléctricos.

Tipo de Motor	Experiencia	Rango de Potencia (kW)	Ventajas	Desventajas
Inducción	Muy amplia, más de un siglo	Hasta 180	- Robustos - De bajo costo	- Baja densidad de potencia
Síncrono de imanes permanentes	Media	Hasta 60	- Alta densidad de potencia	- Alto costo - Se pueden desmagnetizar los imanes
Sin escobillas de imanes permanentes	Mejora de una tecnología existente	Hasta 135	- Alta densidad de potencia - Son de fácil control electrónico	- Alto costo - Necesita sistema de detección de posición
Reluctancia conmutada	Tipología reciente	Hasta 10	- Elevado par de arranque - Fácil de fabricar	- Alto ruido - Alta ondulación de torque

Fuente: Zuñiga Larco, Victor Andres

Diagrama 2: Comparativa entre motores.



Fuente: Larrode Pellicer, Emilio

### 2.3.2. BATERÍAS PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS.

Las baterías son uno de los puntos más decisivos a la hora de realizar el diseño del automóvil, pues dado el estado de desarrollo actual de las baterías, es necesario, conocer la energía que son capaces de ceder, lo que influye en la autonomía del vehículo, la potencia capaz de desarrollar, lo que influye en las prestaciones del mismo y del peso y volumen de estas.

#### 2.3.2.1. PARÁMETROS DE LAS BATERÍAS.

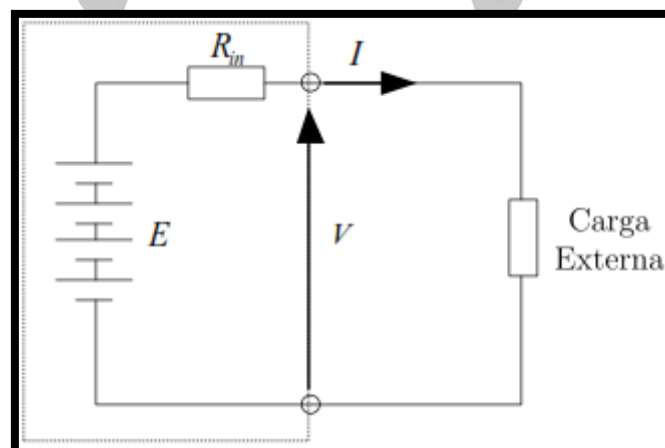
Una batería presenta parámetros que especifican su comportamiento. Estos deben ser considerados para su uso en un vehículo eléctrico. Los más importantes se detallan a continuación:

##### a) TENSIÓN DE LAS BATERÍAS Y CELDAS V :

Las celdas eléctricas, dependiendo de su química, tienen una tensión nominal que entrega un valor aproximado del voltaje que tendrá cuando se esté entregando energía. Las celdas son conectadas en serie para obtener los niveles de voltaje que se buscan. Cuando la celda está entregando corriente, la tensión disminuye y cuando se está cargando esta aumenta.

El cambio en la tensión de la celda se puede explicar con el concepto de resistencia interna y el circuito equivalente de la celda, el que se puede observar en la figura. (11)

*Ilustración 17: Circuito Equivalente Simplificado de la batería.*



Fuente: VARGAS FABRE, JUAN

b) **CAPACIDAD DE CARGA C:** Corresponde a la cantidad de energía eléctrica que la batería es capaz de entregar. Se usa como unidad de medida el Ampere/Hora (Ah). No obstante, esto no siempre se cumple en la práctica. La capacidad de carga es afectada por la velocidad en que es removida la carga. (11)

c) **ENERGÍA ALMACENADA:** Esta depende de la tensión nominal (V) y la capacidad de carga (C). Para esto se usa la unidad de Watt/hora y se obtiene con la siguiente formula: (11)

$$\text{Energía en Watt/hora} = \text{Voltaje} * \text{Capacidad de Carga} = V * C....(9)$$

Es importante notar que debido a su dependencia con el voltaje y la capacidad de carga, la energía almacenada puede variar dependiendo de la velocidad con que es extraída la energía. (11)

d) **ENERGÍA ESPECÍFICA.** Corresponde a la cantidad de energía eléctrica almacenada por cada kilogramo de batería. La unidad de este parámetro es el Wh/kg. (11)

e) **EFICIENCIA DE CARGA.** Corresponde a la relación entre la energía que entrega la batería, con la que recibe. El valor de esta, varía según el tipo de batería, temperatura y la velocidad de la carga. (11)

f) **EFICIENCIA ENERGÉTICA.** Se define como la relación entre la energía que entrega una batería y la que necesita para volver al estado de carga antes de la descarga. (11)

g) **TASA DE AUTO-DESCARGA.** Las baterías sufren una descarga cuando no son usadas, esto es importante ya que las baterías no pueden ser dejadas sin cargar por un periodo muy largo de tiempo. Esta tasa varía según el tipo de batería y temperatura (que al ser muy grande aumenta considerablemente la auto-descarga). (11)



- h) **VIDA ÚTIL Y CICLOS DE DESCARGA.** Las baterías pierden su capacidad de carga a medida que estas sufren descargas. Es una variable muy importante ya que al definir la vida útil de las baterías, se pueden realizar aproximaciones de los costos. (11)
- i) **EFFECTO MEMORIA.** El efecto memoria es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo, se crean cristales en el interior de estas baterías, a causa de una reacción química al calentarse, bien por uso o malas cargas. (11).

#### 2.3.2.2. TIPO DE BATERÍAS.

- a) **BATERÍAS DE PLOMO ACIDO.** Son las baterías más usadas en automóviles eléctricos, montacargas, carros de golf, etc. Sin embargo para aplicaciones de tracción se necesitan baterías que soporten descargas profundas y para aumentar la robustez pueden usar un gel en vez de un electrolito líquido. Los parámetros más importantes son (12):

Tabla 4: Características de las baterías de Litio. (12)

Energía Específica	20-35 Wh/kg
Densidad Energética	54-95 Wh/L
Potencia Específica	~ 250W/kg antes de que la eficiencia caiga
Tensión Nominal Celda	2V
Eficiencia de Carga	~ 80 %, varía con el rango de descarga y temperatura
Resistencia Interna	Muy baja, ~ 0,022Ω para celda de 1Ah
Temperatura de Operación	Temperatura Ambiente, bajo desempeño en temperaturas extremadamente bajas
Número de Ciclos de Vida	Cerca de 800 al 80 % de la capacidad

Fuente: Larminie, James; Lowry, Jhon

- b) **BATERÍA DE NÍQUEL-CADMIO.** Su desarrollo comenzó a finales del siglo XIX. Fue considerada como el competidor principal de las baterías de plomo ácido debido a que tiene una energía específica cercana al doble, pero su costo es aproximadamente el triple. Han sido usadas de forma exitosa en las versiones eléctricas de los modelos Peugeot 106,

Citroën AX, Renault Clío, Ford Think y Ranger. Las características de estas baterías se observan en la tabla (12)

Tabla 5: Características de la batería de Níquel de Cadmio.

Energía Específica	40-55 Wh/kg
Densidad Energética	70-90 Wh/L
Potencia Específica	$\sim 125W/kg$ antes de que sea muy ineficiente
Tensión Nominal Celda	1.2V
Eficiencia de Carga	Buena
Resistencia Interna	Muy baja, $\sim 0,06\Omega$ para celda de 1Ah
Temperatura de Operación	$-40^{\circ}C$ a $+80^{\circ}C$
Número de Ciclos de Vida	Cerca de 1200 al 80 % de la capacidad

Fuente: Larminie, James; Lowry, Jhon

c) **BATERÍAS DE ION-LITIO.** Las celdas de litio recargables están disponibles desde finales de los años 1980. Tienen una alta densidad energética, junto con un alto costo. Son usadas de forma masiva en aplicaciones portátiles como teléfonos celulares, notebooks, etc. Sus características son ideales para el desarrollo de autos eléctricos. Sus parámetros se observan en la tabla. (12)

Tabla 6: Características de la batería de Ion de Litio

Energía Específica	90 Wh/kg
Densidad Energética	153 Wh/L
Potencia Específica	$300W/kg$ antes de que la eficiencia caiga
Tensión Nominal Celda	3.5V
Eficiencia de Carga	Muy buena
Resistencia Interna	Muy baja
Temperatura de Operación	Temperatura Ambiente
Número de Ciclos de Vida	Más de 1000

Fuente: Larminie, James; Lowry, Jhon

**COMPARACIÓN DE LAS PRESTACIONES DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS.** A continuación se muestran las principales características que definen una batería. Estas características serán las que determinen que tipo de baterías es más adecuada en función de su uso. Recordar que este proyecto nace de la necesidad de buscar documentación para ampliar el conocimiento sobre las baterías actuales en el mercado.

Tabla 7: Comparación de Baterías.

Tecnología	Pb-ácido	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ión [LiCoO <sub>2</sub> ]	LiFe	LI-PO
Parámetros						
Voltaje (V/celda)	2v	1.2v	1.2v	3.6/3.7v	3.3v	3.7v
Autodescarga (%/mes)	3%-20%	10%	30%	8%	-	5%
Descarga en continua		10c	8c	1c	26c	20-45c
Descarga por picos	-	-	-	-	52c	30-90c
Mantenimiento	Bueno	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000
Densidad energética [wh/l]	60-75	50-150	140-300	250-360	220	300
Energía específica [Wh/kg]	30-40	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200
Potencia específica [W/Kg]	180	150	250-1000	250-340	3000	7100
Corriente carga rápida [C]	0.4	1- 2	1-2	1	4	1-2
Eficiencia. Carg/Desca	50%-92	70%-90%	66%	80%-90%	-	99.8%
Tolerancia a sobrecargas	-	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. mala
Robustez a impactos	Buena	M. buena	Buena	M. mala	Media	M. mala
Altas temperaturas	Media	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. Mala
Problemas de ecualización	No	No	No	Si	Si	Si
Seguridad	M. buena	M. buena	M. buena	M. buena	M.buena	Buena
Formato	-	Cilíndrico	Cilíndrico	Prisma	Pris/Cilin	Prisma

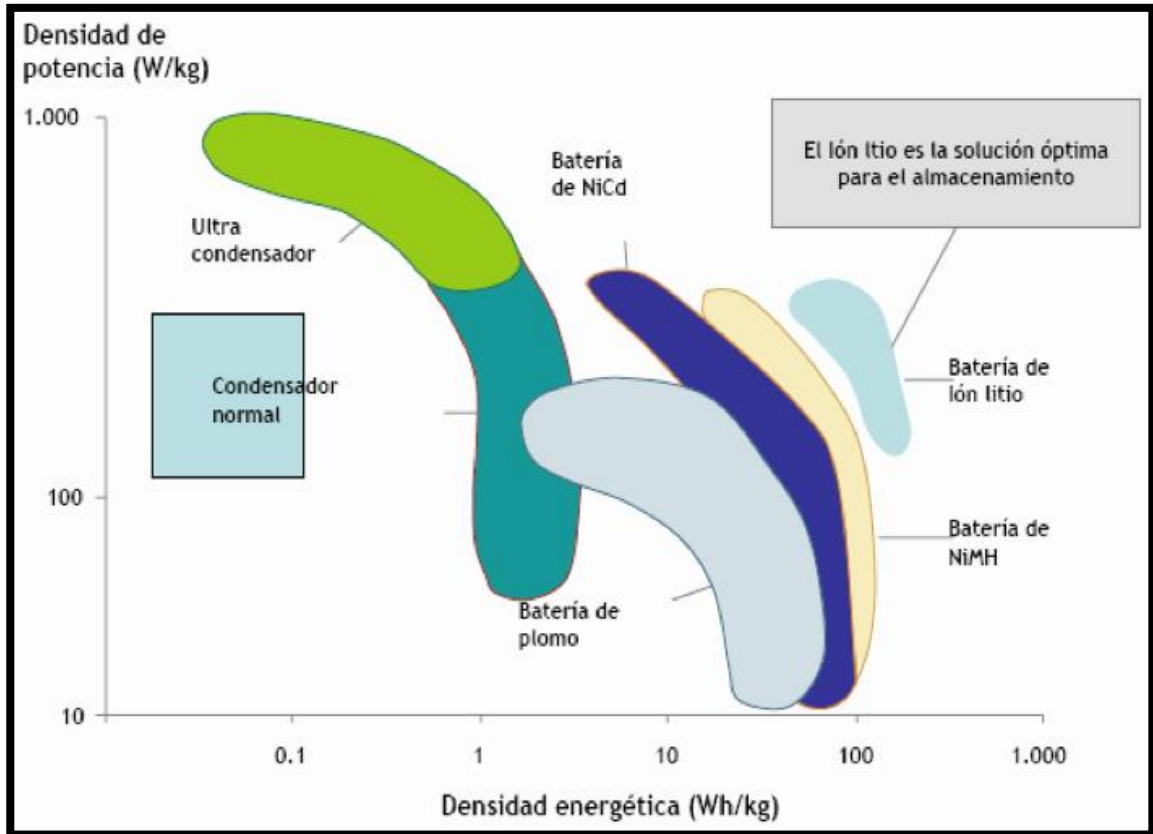
Fuente: Torrejon Perez, Cristina

### 2.3.3. CONTROL Y ETAPA DE POTENCIA.

Existen varias posibilidades a la hora de realizar el control del motor de un automóvil eléctrico en función de la configuración que se haya escogido, así como del tipo de motorización seleccionado. Dado que la transmisión de un automóvil se puede realizar a través de elementos mecánicos, se puede realizar una división en cuanto a la configuración utilizada.

Así podemos elegir un control de un sistema totalmente eléctrico a través de variadores electrónicos o utilizar una configuración mixta, en donde el control del motor se realiza no solo a través de variadores electrónicos sino que además se le dota al vehículo de una caja de cambios mecánica, pudiendo de esta manera tener un rango más amplio de variación.

Ilustración 18: Densidades de batería.



Fuente: <https://feelmotor.files.wordpress.com/2011/11/densidades-baterias.png>

### 2.3.3.1. CONTROL ELECTRÓNICO DE UN MOTOR DC.

En el caso de un motor de excitación independiente se puede lograr una regulación completa controlando la tensión de inducido la del inductor. Si el motor es de excitación serie de debe de controlar la tensión de alimentación y controlar además el shuntado de la excitación. Para el control de las magnitudes citadas se emplean troceadores. Están formados por transistores o tiristores.

Existen diferentes configuraciones electrónicas utilizadas para el control de velocidad del motor DC, basada en la aplicación de distintos niveles de tensión al motor. En el pasado, dada una fuente de voltaje fija, la única manera de proporcionar un nivel más bajo de tensión era al utilizar un reóstato (resistencia variable). Este método es ineficiente debido a las cuantiosas pérdidas resistivas (térmicas), las cuales tienen un claro impacto sobre la autonomía del vehículo. (8)



## CONFIGURACIONES.

- **CHOPPER (TROZADOR):** Esta configuración permite proporcionar un voltaje promedio inferior al proporcionado por la fuente de alimentación. Esto se logra al recortar el voltaje de la fuente, así proporciona un voltaje pulsante. El control opera directamente sobre el interruptor semiconductor, el tiempo de encendido y apagado mediante la técnica PWM. Con este trozador se logra el control de velocidad, pero no se logra invertir el sentido de giro. (15)
- **MEDIO PUENTE H:** Esta configuración está conformada por dos interruptores que funcionan con la misma técnica PWM, similar al caso anterior. Al utilizar en forma inteligente estos dos interruptores se logra utilizar el motor, no solamente como freno eléctrico, sino además, como generador que obtiene un flujo de energía desde el motor hacia el banco de baterías. Esta operación se denomina freno regenerativo. (15)
- **PUENTE H:** Esta configuración consta de cuatro interruptores semiconductores controlados por PWM. Un sistema de control inteligente y más complejo que el anterior permite operar el freno regenerativo y adicionalmente, cambiar el sentido de giro del motor. En ambos sentidos se tiene freno regenerativo. (15)

Los interruptores utilizados frecuentemente en estas aplicaciones son IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) o MOSFET (Metal Oxide Solid Field Effect Transistor). (15)

### 2.3.3.2. CONTROL ELECTRÓNICO DE UN MOTOR AC.

En general, los motores de Inducción Trifásicos cuentan con eficiencias superiores a los motores de corriente continua. El control presenta distintos desafíos tecnológicos para poder proporcionar un suministro energético alterno y trifásico a partir de una fuente de corriente continua (banco de baterías). Esto se logra, gracias a otro sistema basado en electrónica de potencia denominado inversor trifásico. (15)



Adicionalmente, este inversor debe operar como variador de frecuencia para poder manejar el motor de inducción correctamente, es decir, que aprovecha el máximo desempeño del motor sin fallas. Para maximizar las cualidades del motor de inducción trifásico, es necesario que el variador de frecuencia permita el control tanto de la frecuencia como de la amplitud del voltaje. La relación más simple que une el control de velocidad de estos motores es:  $\text{voltaje} / \text{frecuencia} = \text{constante}$  (relación necesaria para evitar saturar el núcleo del motor). El control de velocidad es una de las aplicaciones más usadas en el manejo de motores de inducción, sin embargo, existen variadores de frecuencia mucho más complejos orientados al control de torque mediante la tecnología denominada vectorial. (15)

Estos dispositivos, en general, necesitan un procesamiento electrónico de señales que permita manejar y coordinar, el encendido y apagado de los seis interruptores de potencia (IGBT o MOSFET) que generan el voltaje trifásico. Hoy en día esta tarea la desempeña un DSP (Digital Signal Processor), que permite procesar gran cantidad de información de control en poco tiempo, que permite coordinar en forma correcta estas complejas secuencias de encendido y apagado de los interruptores. (15)

#### **2.3.4. SISTEMA DE FRENADO.**

Algunos motores eléctricos son frenados mediante dispositivos mecánicos operados magnéticamente. Otros, con frenados reostáticos.

En los frenos mecánicos existe el inconveniente que el frenado depende fundamentalmente del estado de las superficies rozantes y en los frenos reostáticos aparece el problema de los relays y otros dispositivos electromecánicos, desgastables y sujetos a fallas. Ambos sistemas requieren una mantención periódica. (16)

A continuación describimos tres tipos de frenados eléctricos que son: contramarcha, frenado dinámico y frenado regenerativo

##### **2.3.4.1. CONTRAMARCHA.**

Este sistema es utilizado en algunas aplicaciones especiales como, por ejemplo, algunas laminadoras las cuales deben detenerse súbitamente para luego cambiar de sentido de giro. Esto se efectúa sin suspender la excitación

del motor e invirtiendo la tensión en la armadura. En el instante en que se ha invertido la tensión, el voltaje aplicado a la armadura y la f.c.e.m. son casi iguales y aditivas, luego, para no ocasionar daños por el impulso de sobre corriente es necesario intercalar en serie una resistencia que es usualmente un 85% mayor que la resistencia de arranque normal. (16)

#### **2.3.4.2. FRENADO DINÁMICO.**

El motor es llevado rápidamente a reposo haciendo uso de la acción generativa del motor. Si los terminales de la armadura son desconectados y se conecta a la armadura una resistencia de valor bajo, manteniendo la excitación, entonces se produce una detención del motor ya que la fuerza electromotriz produce una corriente en la resistencia con lo que la energía cinética acumulada en las partes rotatorias se disipa rápidamente en forma de calor.

El valor óhmico de la resistencia es determinante en la rapidez, con lo que se consume la energía mecánica y por ello el tiempo requerido para frenar, generalmente se ha adoptado un valor de esta resistencia tal que produzca un impulso inicial del orden de 180% del valor inicial, sin embargo puede ser traspasado para frenados más violentos permitiendo mayores corrientes y el consiguiente chisporroteo en el colector.

Esto significa que el motor no está bloqueado cuando el motor no gira, luego se hace necesaria la existencia de frenado mecánico que provea este bloqueo.

Si bien el frenado no es constante, es posible hacerlo controlando la excitación del generador, para lo cual basta con implementar un control realimentado mediante tiristores. (16)

#### **2.3.4.3. FRENADO REGENERATIVO.**

El término frenado regenerativo, a diferencia de los anteriores en que el motor es llevado a completo reposo, se aplica a un sistema donde la carga ejerce torque negativo sobre el motor, impulsándolo como si fuese un generador logrando devolver energía a la fuente. Este tipo de frenado es una modificación del frenado dinámico, requiere que la tensión inducida sea

mayor que la tensión de la fuente. Esto significa que la rotación debe ser mayor que la normal, condición que es posible alcanzar solamente si la carga es de un carácter persecutorio, como en un ferrocarril en marcha cuesta abajo, un ascensor que está descendiendo o un automóvil cuesta abajo. Fuera del exceso de velocidad, se puede generar si se aumenta la intensidad de excitación lo suficiente como para superar la tensión de la fuente; en otros casos, cuando varios motores impulsan una carga común, pueden ser conectados en diversas combinaciones serie o paralelo. El frenado regenerativo es de aplicación también, cuando se desea mantener limitada la velocidad de una carga dada. (16)

### 2.3.5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

La alimentación en automóvil se realiza a través de lo que se conoce como un cargador, que realiza la tarea de adquirir corriente de la red y transmitirla a la batería con la que está equipada el vehículo.

Los cargadores de baterías son dispositivos electrónicos que permiten una correcta carga de las baterías. Estos sistemas pueden ser alimentados mediante la red pública (220V @60Hz) o algún otro sistema que genere energía eléctrica. Hay que destacar que es factible incorporar otros sistemas de carga, como por ejemplo freno regenerativo, celdas solares, celdas de combustible, siempre y cuando se mantengan los criterios de carga dado por el fabricante de la batería. (15)

Un cargador de baterías debe cumplir tres funciones:

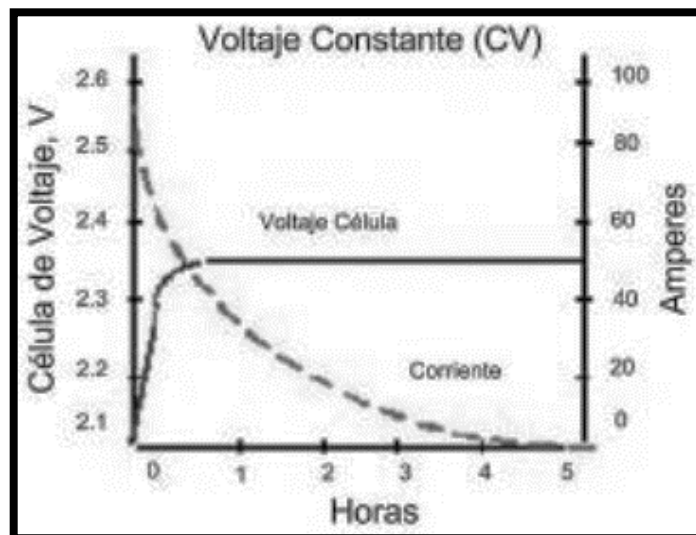
- La carga de la batería.
- La optimización de la tasa de carga.
- La terminación oportuna del proceso de carga.

#### 2.3.5.1. MÉTODOS DE CARGA.

a) **CARGADOR DE VOLTAJE CONSTANTE.** Al aplicar un voltaje constante superior al voltaje electrolítico de las celdas de la batería, se produce un flujo de corriente hacia ésta. Si la batería se encuentra descargada presenta una resistividad interna baja, la que genera altas

corrientes de carga. A medida que la batería se carga, la resistividad interna de ésta aumenta, lo que provoca que la corriente disminuya. Tal comportamiento se puede apreciar en el gráfico adjunto. Los cargadores de voltaje constante presentan un limitador de corriente para evitar corrientes demasiado altas, en el caso de baterías muy descargadas. Estos cargadores son relativamente simples, por lo que no son muy caros. (15).

*Ilustración 19: Transitorio de Corriente y Voltaje para un Cargador de V. C.*

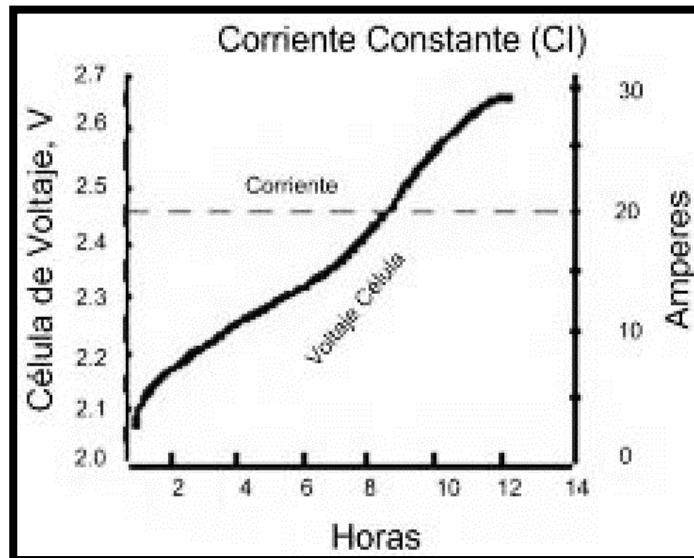


*Fuente: Castañeda Zeman, Victor Antonio*

- b) CARGADOR DE CORRIENTE CONSTANTE.** En este cargador, como su nombre lo indica, se utiliza una corriente constante de carga hasta que la batería alcance su voltaje de carga completa. Generalmente, este tipo de cargador es más rápido que el anterior. Los sistemas electrónicos son un poco más complejos y un poco más caros que el anterior. Este cargador tiene el inconveniente de entregar corrientes altas cuando la batería alcanza su capacidad máxima, haciendo que la batería se caliente indebidamente con este exceso de corriente eléctrica. (15)



Ilustración 20: Transitorio del cargador de C.C.

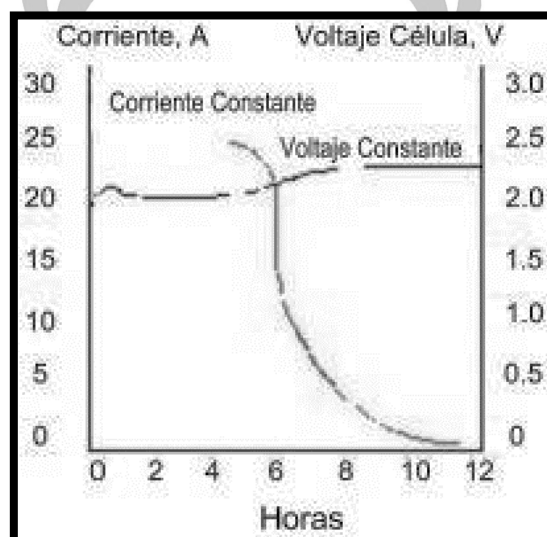


Fuente: Castañeda Zeman, Víctor Antonio

### c) CARGADOR DE UNA COMBINACIÓN DE CORRIENTE/VOLTAJE CONSTANTE.

Este cargador tiene un ciclo de carga que comienza con una alta y constante corriente de carga que eleva el voltaje de la batería. Cuando se llega a un valor definido, este se cambia a un cargador de voltaje constante. Este sistema es más sofisticado y generalmente incrementa la vida útil de las baterías que permite reducir el calor generado durante el proceso de carga. Con esto se logra un cargador que tiene un mejor rendimiento y extiende la vida útil de la batería. (15)

Ilustración 21: Transitorio en el cargador combinado.



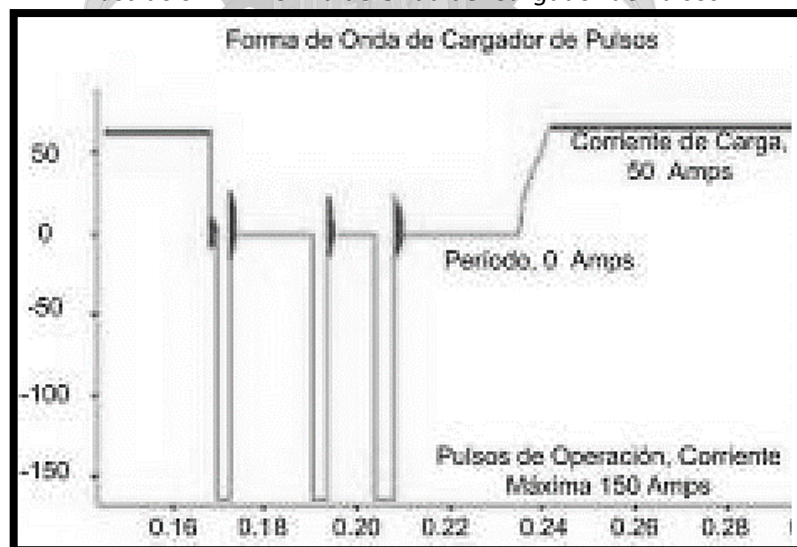
Fuente: Castañeda Zeman, Víctor Antonio



#### d) CARGADOR DE PULSOS.

Este es uno de los métodos más avanzados de carga, siendo muy parecido al cargador de corriente o voltaje constante, con la diferencia que en vez de ser un valor constante se entrega un tren de pulsos. Este utiliza un tren de pulsos de corriente y/o voltaje (o combinaciones de estas) que son aplicados a la batería, que provocan corrientes que ingresan a la batería. Este tren de pulsos define las corrientes instantáneas de carga, como también la velocidad de carga. La mayor ventaja de este cargador es que existe una reducción importante en el calentamiento de la batería debido a la carga, ya que tiene la posibilidad de reducir las corrientes cuando la batería está a punto de completar su carga. (15)

*Ilustración 22: Forma de Onda del Cargador de Pulsos.*



*Fuente: Castañeda Zeman, Victor Antonio*

#### 2.3.5.2. CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CARGA PARA AUTOS ELÉCTRICOS.

Los sistemas de recarga para autos eléctricos son clasificados según la cantidad de kilowatts [kW] que se proveen a las baterías. Los tiempos de carga varían, puede ser de 30 minutos a 20 horas o más dependiendo del tipo de carga usado.

Existen dos asociaciones que han realizado una clasificación formal de los tipos de carga, estas son la SAE (Society of Automobile Engineers) con una importante influencia de Estados Unidos y Japón y la I.E.C. (International

Electrotechnical Commission). Su clasificación es muy similar y se diferencia básicamente en los niveles de tensión que utiliza y la incorporación de cargadores trifásicos por parte de la I.E.C. A continuación se exponen los tipos de carga que clasifica la SAE.

- a) **CARGADORES DE NIVEL 1:** Cargan a través de la toma de corriente alterna monofásica de 120 V (hasta 15 amperes y 1,8 kW) y requiere un circuito dedicado. La carga puede durar de 8 a 20 horas para alcanzar la carga completa, añadiendo de 7 a 9 kilómetros de autonomía por hora de carga dependiendo del vehículo. (11).
- b) **CARGADORES DE NIVEL 2:** En este nivel se realiza la carga a 240 V, en corriente alterna y requiere la instalación de equipamientos cargadores en casa o instalaciones públicas. Esta ópera hasta en 80 amperes y 19,2kW. En la mayoría de estos casos se opera a 30 Amperes y 7,2 kW de potencia. Estas unidades requieren un circuito dedicado de 40 amperes. Este equipamiento ocupa el mismo conector que el de nivel 1. La carga puede ser entre 3 y 8 horas, añadiendo cerca de 30 km por hora de carga, dependiendo del vehículo. (11)
- c) **CARGADORES DE NIVEL 3:** Este nivel aún no ha sido implementado y corresponde a una opción de carga en corriente alterna más rápida. Operará a una tensión y corriente mayor que en el nivel 2, será instalado en lugares de carga pública. Este tipo de carga se realizara en menos de 30 minutos. (11)
- d) **CARGA RÁPIDA DC:** En corriente continua (480 V) proveen hasta 62.5 kW a las baterías. Esta opción permite la carga en estaciones de servicio públicas. El tiempo de carga es menor a los 30 minutos para cargar la batería hasta el 80 % de la carga. (11)

**CONECTORES:** Los equipamientos de carga y los vehículo no tienen un conector y un enchufe estándar. La mayoría de los fabricantes actuales

siguen el estándar SAE J1772 para carga lenta (nivel 1 y 2). El conector para carga rápida DC aún no ha sido estandarizado.

Para este tipo de carga la mayoría de los vehículos eléctricos usan el conector y empalme de la Tokyo Electric Power Company (TEPCO) que corresponde al estándar de facto para la industria japonesa.

En el corto plazo, debido a la definición de la ACEA (European Automobile Manufacturer's Association) [ACEA] de usar un distinto estándar (conector Mennekes para carga lenta y conector Combo para carga rápida), se espera la presencia distintos conectores de carga para los vehículos eléctricos provenientes de Europa. (11)

### 2.3.5.3. INSTRUMENTACIÓN EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.

#### a) SISTEMA DE MEDICIÓN.

Un VE debe ser capaz de proveer información al conductor. Esta información debe lo más precisa, rápida y confiable que se pueda lograr. El primer paso es el de elegir las variables, es decir, la información que se quiere obtener. A continuación, se explicarán todas. (17)

- **Velocidad:** El objetivo de ésta es simplemente entregar la rapidez del desplazamiento de VE.
- **Carga en la Batería:** Su función es la de dar a conocer la cantidad de energía disponible en las baterías del VE.
- **Corriente:** Tener una buena medición de ésta nos permitirá conocer la eficiencia de VE, ya que, a menor corriente existe un menor esfuerzo tanto del motor como del controlador. Además en casos de VE con freno regenerativo sirve para cuantificar esta implementación.
- **Temperatura en el Motor:** Esta medida tiene un carácter de seguridad, ya que, cuando un motor sobrepasa una cierta temperatura pierde efectividad, vida útil y hasta se puede dañar gravemente.

- **RPM del Motor:** La función de ésta es saber a cuantas revoluciones por minuto se encuentra el motor. Esto puede servir como otra variable de eficiencia, ya que, a mayor RPM, mayor es el voltaje luego menor es la corriente.

#### **b) SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN.**

- **Velocímetro:** Su función es la de medir la velocidad del automóvil. Para nuestro.
- **Voltímetro:** Este instrumento mide la carga existente en la batería. Para aquello debe ser conectado en paralelo con la batería. La salida de éste puede darse en dos formas: Digital o Analógica.
- **Amperímetro:** La función de éste es medir el flujo de corriente entre los puntos en que sea conectado. Usualmente se puede conectar entre las baterías y el controlador o entre el controlador y el motor. Al usar un amperímetro éste debe tener como posición normal el centro, ya que, si el auto se diseña con freno regenerativo los flujos de corrientes se desplazarán e ambas direcciones.
- **Sensores de Temperatura:** Se encontrarán ubicados en la cercanía del motor, y su misión es la de medir la temperatura de éste.
- **Tacómetro:** La idea de este instrumento es la de medir las revoluciones por minuto del motor. Una forma de montaje es mediante el uso de un tacómetro láser que apunte al eje, obteniendo así un valor de esta medición.
- **E-Meter:** Es un monitor de una sola batería que utiliza un microprocesador para reportar toda la información relevante de la batería. En una simple y fácil interfaz despliega voltaje, corriente, amperios hora, y el tiempo de operación restante. Además es capaz de medir y reportar kilowatt horas e información histórica de la batería tales



como el número de ciclo de cargas, descarga más baja y el promedio de descarga. (17)

### 2.3.6. ELEMENTOS MECÁNICOS.

#### 2.3.6.1. PRESTACIONES DEL AUTOMÓVIL.

Las prestaciones del automóvil van a ser determinadas por la capacidad de aceleración, la velocidad máxima que pueden alcanzar y la pendiente máxima superable. Estas características van a depender fundamentalmente de: (8)

- Las condiciones de adherencia de los neumáticos con el suelo.
- La aerodinámica del suelo.
- La motorización.
- El diseño de la transmisión.

#### 2.3.6.2. TRANSMISIÓN. Está compuesta por un conjunto de engranajes múltiples que son la caja de cambios y el grupo diferencial, con sus relaciones de transmisión correspondientes

El estudio de solicitaciones se basa en la determinación de las fuerzas de resistencia que tiene que vencer el automóvil durante el movimiento. El cómputo de todas las resistencias al avance se puede agrupar en tres claramente diferenciadas: (8)

$$R_T = R_r + R_a + R_p \dots \dots \dots (9)$$

- **RESISTENCIA A LA RODADURA  $R_r$ .** Esta provocada por la fuerza que soporta cada rueda, cuyo valor numérico se obtiene al multiplicar la mitad de la carga sobre cada eje por el coeficiente de rodadura. El valor del coeficiente de rodadura depende de factores como: La velocidad lineal del vehículo, la naturaleza y condiciones del terreno, la presión de inflado del neumático, la carga soportada por cada rueda, el radio de rodadura, la huella de contacto, la calidad del caucho del neumático, la estructura del neumático y la temperatura del mismo. (8)



- **RESISTENCIA A LAS PENDIENTES  $R_p$ .** Está formada por la componente del peso del vehículo que se opone al movimiento cuando este se dispone a subir una pendiente. Esta fuerza cambiara de signo cuando la pendiente sea descendiente. Su valor se obtiene multiplicando el peso del vehículo por el valor de la pendiente expresada en tanto por uno. (8)
- **RESISTENCIA AERODINÁMICA  $R_a$ .** Compuesta por la fuerza generada por el rozamiento con el aire y que por tanto se opone al movimiento. Se obtiene a través de la formulada aceptada por S.A.E. y que se obtiene al evaluar la cantidad de movimiento de la masa de aire que desplaza el vehículo, dependerá por lo tanto de la velocidad del vehículo, del coeficiente de penetración aerodinámica y de la superficie frontal efectiva del vehículo. (8)

#### 2.3.6.3. TRANSMISIÓN MECÁNICA (GRUPO CÓNICO DIFERENCIAL).

El diferencial se encarga de ajustar la velocidad de cada una de las ruedas motrices manteniendo la fuerza motriz total. Esto es muy necesario porque al tomar el vehículo una curva, la rueda exterior debe recorrer mayor distancia que la rueda interior, por lo que debe girar a más velocidad. (18)

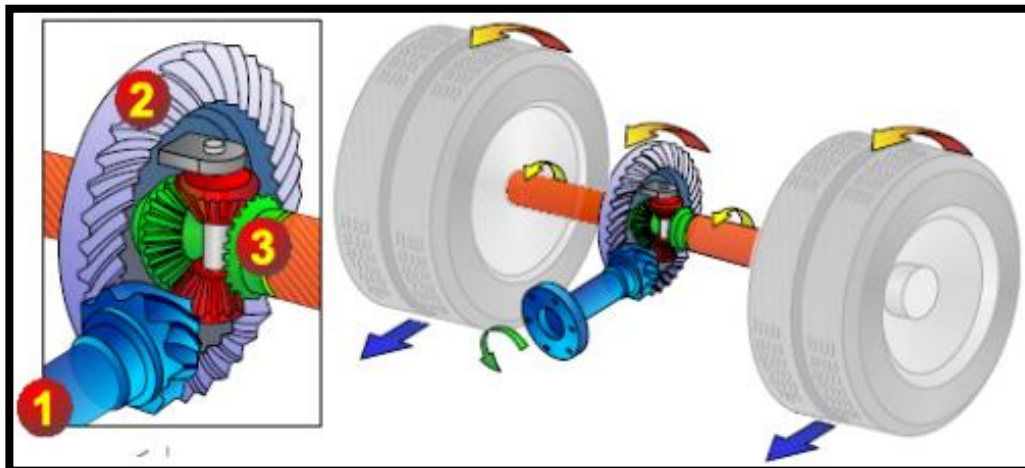
#### COMPONENTES DEL GRUPO CÓNICO DIFERENCIAL

Los componentes del grupo cónico son:

- **EL PIÑÓN DE ATAQUE (1),** que es el eje de entrada del puente trasero. Va apoyado en dos cojinetes de rodillos cónicos en la parte delantera y un cojinete de rodillos normal en la parte trasera. El cojinete trasero mantiene el piñón de ataque engranado en la corona (18).
- **LA CORONA (2).** El piñón de ataque transmite la energía motriz a la corona, que va instalada en la caja del diferencial. Al girar el piñón de ataque y la corona en un ángulo de  $90^\circ$ , la energía motriz puede transmitirse a las ruedas motrices a través los semiejes. (18).

- **EL DIFERENCIAL (3).** Va incluido en la caja del diferencial y consta de los piñones del diferencial, cuatro satélites instalados en una cruceta y dos planetarios de mayor tamaño conectados a los semiejes. (18)

Ilustración 23: Partes del grupo cónico diferencial



Fuente: VOLVO

#### 2.3.6.4. TRASLACIÓN

Los elementos que componen los grupos de traslación son los que permiten al vehículo la toma de curvas mediante los mecanismos de dirección; la detención y control mediante el mecanismo de frenado; y que la marcha se realice de forma confortable y segura mediante el mecanismo de suspensión. (8)

- a) **FRENOS.** Se puede seleccionar los del tipo tambor o de disco, siendo el ultimo los más utilizados. Para el cálculo del sistema de frenos se determina el par máximo, se trazan las curvas de equiadherencia y se calculan las componentes del sistema.
- b) **DIRECCIÓN.** Es el conjunto de mecanismos que permiten al conductor obligar al vehículo a seguir la trayectoria deseada. Las características que debe de tener son: dureza, fiabilidad, estabilidad, progresividad, reversibilidad.

- c) **SUSPENSIÓN.** Es el conjunto de elementos mecánicos que unen los elementos de rodadura con la carrocería el automóvil, con dos misiones fundamentales: Aumentar la estabilidad del vehículo ante virajes, desniveles y obstáculos; conseguir un nivel de confort de los pasajeros, para ello se analiza las vibraciones a las que está sometido el pasajero.

### 2.3.7. ESTRUCTURA Y CARROCERÍA.

La estructura de los automóviles eléctricos se puede realizar de dos formas: bien una carrocería auto portante como la de los automóviles convencionales, realizada en chapa estampada de acero; o mediante un bastidor compuesto de perfiles tubulares metálicos soldados y una carrocería realizada con recubrimiento en materiales aligerados, como el aluminio o materiales compuestos. (8)

#### 2.3.7.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BASTIDOR.

El cálculo y diseño se suele realizar por medio de programas de elementos finitos. Se realizan cálculos de rigidez y resistencia a partir de los dos modelos estáticos de carga (flexión y torsión), suficientes para representar el comportamiento dinámico del vehículo. (8)

- a) **CALCULO DE FLEXIÓN.** Representa las solicitaciones que sufre el vehículo por sus propias cargas con el movimiento vaivén.
- b) **CALCULO A TORSIÓN.** Representa las solicitaciones dinámicas que sufre el vehículo cuando tiene una inestabilidad en una de las ruedas, así como el momento de vuelco en la toma de las curvas.

#### 2.3.7.2. DISEÑO DE LA CARROCERÍA.

La carrocería se suele diseñar en materiales aligerados como son el aluminio o la fibra de vidrio, o la de carbono con resina termoplástica o termoestable. (8)

# **CAPITULO III.**

## **DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.**

### 3.1. PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO TRES RUEDAS.

La elección de la forma y tamaño para que el prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas, sea así se debió a que se planteó como una alternativa de solución al tráfico es el uso de vehículos ligeros de transporte, y esto conlleva que nuestro diseño sea compacto, de reducido tamaño y con mucha menos complejidad mecánica en la dirección, transmisión, y sistemas asociados.

### 3.2. DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.

Para el caso de la construcción de prototipo vehicular eléctrico, se debe de hacer un diseño, considerando las prestaciones a las que será sometido. Y siendo esto importante para poder definir de la manera más próxima los distintos elementos que conforman al prototipo vehicular.

### 3.3. POTENCIA REQUERIDA PARA EL AVANCE DEL PROTOTIPO.

Para hallar esta potencia, se usa ecuaciones que definen el consumo energético para distintas condiciones de manejo dado, para ello determinamos la resistencia total al avance del prototipo ( $R_T$ ), y esta viene a ser la suma de resistencia a la rodadura ( $R_r$ ), resistencia aerodinámica ( $R_a$ ), y la resistencia a las pendientes ( $R_p$ ), para así determinar la potencia.

$$R_T = R_r + R_a + R_p \dots\dots\dots(11)$$

#### a) Resistencia a la rodadura ( $R_r$ )

$$R_r = \mu * p \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de rodadura.

$p$ : Peso del vehículo (Peso en vacío+ carga máxima) en kg

El coeficiente de rodadura



$$\mu = \mu_0 + k + v^2 \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

$\mu_0$ : 0.02 (camino de asfalto)

k:  $0.5 \cdot 10^{-6}$  (km/h)<sup>-2</sup>

v: Velocidad en km/h

Reemplazando la expresión (13), tenemos:

$$\mu = 0.02 + (0.5 \cdot 10^{-6}) + v^2 \dots\dots\dots(14)$$

De los datos del prototipo, se sabe que su peso en vacío es de 420 kg, y puede transportar una carga útil máxima de 80 kg. Haciendo un peso máximo de 500 kg.

Reemplazando el coeficiente de rodadura y peso del prototipo en la expresión (14), hallamos la resistencia de la rodadura en función de la velocidad.

$$R_r = (0.02 + (0.5 \cdot 10^{-6}) \cdot v^2) \cdot 500 \text{ kg}$$

$$R_r = (10 + (0.00025 \cdot v^2))$$

#### b) Resistencia aerodinámica ( $R_a$ ).

$$R_a = \frac{1}{16} \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

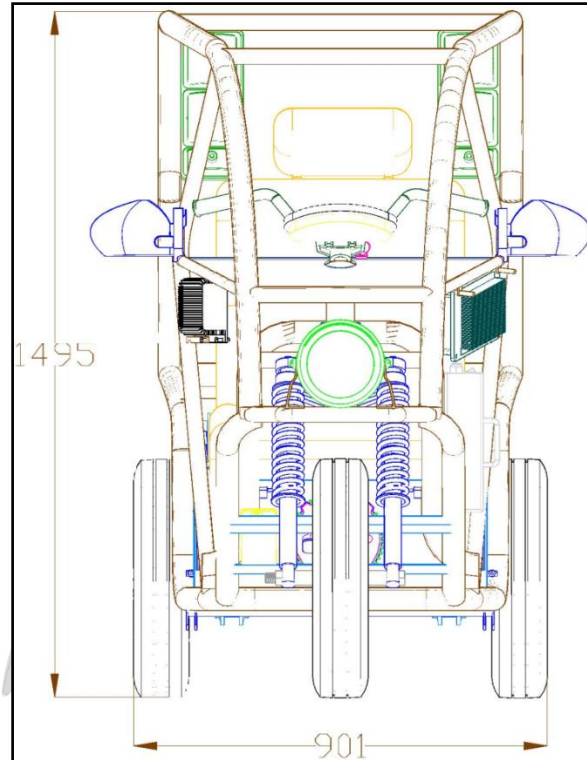
$C_x$ : Coeficiente de penetración aerodinámica (0.3 a 0.4)

S: Superficie frontal del vehículo en m<sup>2</sup>.

V: Velocidad en m/s.

Para hallar la superficie frontal de nuestro prototipo, haremos uso de la siguiente expresión:

Ilustración 24: Vista frontal del prototipo vehicular eléctrico.



FUENTE: Propia

$$S = 0.85 * a * b$$

$$S = 0.85 * 1.495 * 0.901 = 1.14 \text{ m}^2$$

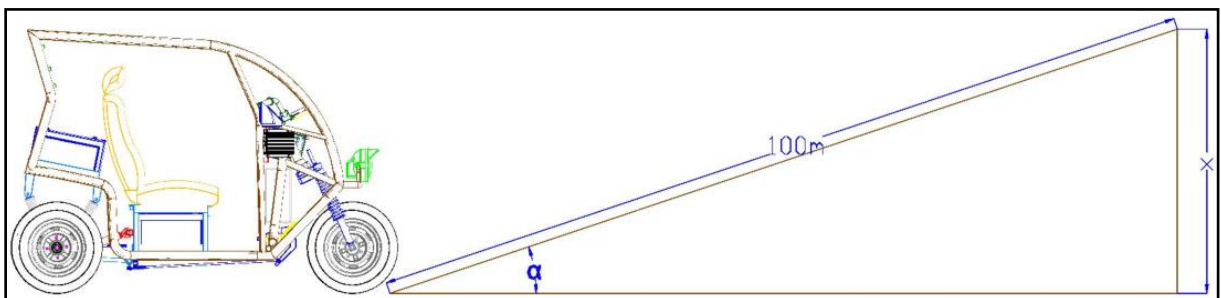
Considerando  $C_x=0.3$ , y reemplazando en la expresión (15), determinamos la resistencia aerodinámica en función de la velocidad

$$R_a = \frac{1}{16} * 0.3 * 1.14 * v^2 = 0.021375 * v^2$$

c) Resistencia a las pendientes.  $R_p$ .

$$R_p = P * \text{sen } \alpha = P * x/100 \dots\dots\dots(16)$$

Ilustración 25: Vista de ubicación del prototipo vehicular eléctrico frente a una pendiente.



Fuente: Propia.

Se Procede a reemplazar el ángulo de inclinación y el peso del prototipo en la expresión (16), se determina la resistencia de la pendiente en función del ángulo de la pendiente.

$$R_p = 500 * \text{sen } \alpha \dots\dots\dots(17)$$

$$R_p = 500 * \text{sen}(10) = 86.82 \text{ kg}$$

Este valor es tomando una pendiente de 17.36 m. de pendiente, en una distancia horizontal de 100 m.

**d) RESISTENCIA TOTAL  $R_T$ .**

$$R_T = 11.29 + 8.55 + 86.82 = 106.66 \text{ kg}$$

**NOTA IMPORTANTE:**

La resistencia total al avance se hace considerando las expresiones de resistencia a la rodadura, aerodinámica y pendiente; siempre y cuando que la resistencia a la pendiente sea 0. La potencia necesaria para vencer a la resistencia de avance y considerando el rendimiento de la transmisión, se usa la siguiente expresión.

$$P_w = \frac{R_T * V}{75 * \eta_T} \text{ (CV)} \dots\dots\dots(18)$$

Donde:

$P_w$ : Potencia (CV)

$R_T$ : Resistencia total al avance (kg)

$V$ : Velocidad (m/s)

$\eta_T$ : Rendimiento en la transmisión (0.8 a 0.85)

Para entender el comportamiento del vehículo cuando viaja a diferentes velocidades y tomando el rendimiento en la transmisión con un valor de 0.85, encontramos diferentes valores de resistencia y potencia; tal como se ve en el cuadro de resultados de a continuación.

Tabla 8: Valores de potencias, velocidades, y resistencia total.

V (km/h)	V (m/s)	$\alpha$	R <sub>r</sub> (kg)	R <sub>a</sub> (kg)	R <sub>p</sub> (kg)	R <sub>T</sub> (kg)	P <sub>w</sub> (CV)	P <sub>w</sub> (kW)
7.2	2	0	10.013	0.086	0	10.098	0.317	0.236
14.4	4	0	10.052	0.342	0	10.394	0.652	0.486
21.6	6	0	10.117	0.770	0	10.886	1.025	0.764
28.8	8	0	10.207	1.368	0	11.575	1.453	1.083
36	10	0	10.324	2.138	0	12.462	1.955	1.458
43.2	12	0	10.467	3.078	0	13.545	2.550	1.901
50.4	14	0	10.635	4.190	0	14.825	3.256	2.428
57.6	16	0	10.829	5.472	0	16.301	4.091	3.051
64.8	18	0	11.050	6.926	0	17.975	5.075	3.785
72	20	0	11.296	8.550	0	19.846	6.226	4.643
79.2	22	0	11.568	10.346	0	21.914	7.562	5.639
86.4	24	0	11.866	12.312	0	24.178	9.102	6.788
93.6	26	0	12.190	14.450	0	26.640	10.865	8.102
100.8	28	0	12.540	16.758	0	29.298	12.868	9.596

Fuente: Propia

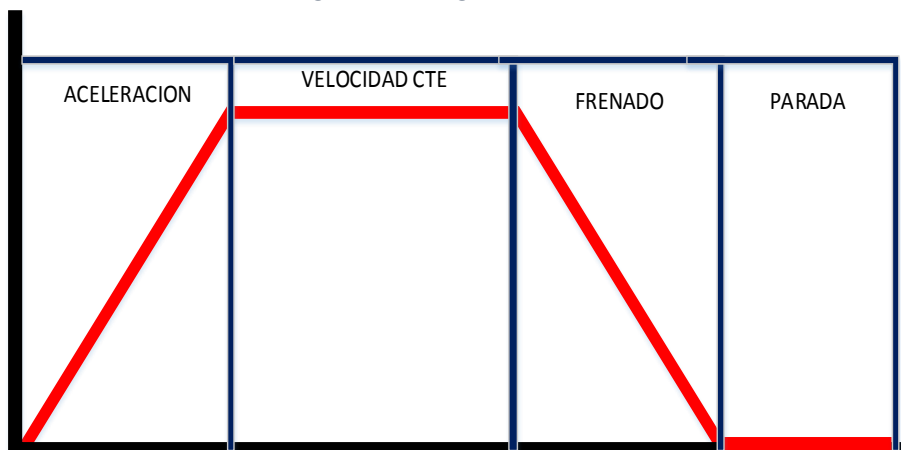
Viendo los resultados, se define que el prototipo vehicular eléctrico al alcanzar una velocidad de 20 m/s equivalente a 72 km/h, requiere de una potencia de motor de 4.64 kW; y por consiguiente determinamos que la potencia de nuestro motor será:

$$P_w = 5 \text{ kW}$$

### 3.4. CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS.

Hallar la capacidad de las baterías necesaria para recorrer un ciclo urbano promedio. Para esto hacemos un análisis en base al recorrido promedio.

Diagrama 3: Régimen de conducción



Fuente: Propia.

- Aceleración: 0 a 40 km/h 30 seg
- Velocidad: 40 km/h 30 seg
- Frenada: de 40 a 0 km/h 12 seg
- Parada: 0 km/h 22 seg
- Tiempo de ciclo: 94 seg
- Longitud de ciclo: 566.6 m

Considerando la densidad de nuestra batería de 30 Wh/kg, y considerando que la autonomía de nuestro prototipo sea de unos 60 km. Empezamos a calcular primero el número de ciclos que puede hacer nuestro prototipo en base a la autonomía planteada, tal como se muestra.

$$n^{\circ} \text{ de ciclos} = \frac{\text{Autonomia}}{\text{Longitud recorrida del ciclo}} = \frac{60000}{566.6} = 105.89$$

La potencia necesaria del motor para que el prototipo pueda transitar a la velocidad planteada en el ciclo, lo hemos hallado de la siguiente manera.

Ilustración 26: Valores hallados para nuestra potencia requerida.

V (km/h)	V (m/s)	$\alpha$	Rr (kg)	Ra (kg)	Rp (kg)	RT (kg)	Pw (CV)	Pw (kW)
69.9999998	19.444444	0	11.225	8.082	0	19.307	5.889	4.391

Fuente: Propia.

La energía consumida en un ciclo completo, se calcula utilizando la potencia en los bornes del motor (W) y los datos del diagrama 03, como se muestra a continuación.

$$E_{\text{aceleracion}} = P_W * T_{\text{medio}} \dots\dots\dots(19)$$

$$E_{\text{aceleracion}} = 65865 \text{ Ws}$$

$$E_{\text{cruce}} = P_W * T \dots\dots\dots(20)$$

$$E_{\text{cruce}} = 131730 \text{ Ws}$$

$$E_{\text{ciclo}} = E_{\text{aceleracion}} + E_{\text{cruce}} + E_{\text{frenada}} + E_{\text{parada}} \dots\dots\dots(21)$$

$$E_{\text{ciclo}} = 197595 \text{ Ws}$$



Si, se multiplica el número de ciclos por la energía consumida en cada uno de los ciclos, se encuentra la energía total consumida en los 60 km de autonomía.

$$E_{TOTAL} = 106 * E_{ciclo} \dots \dots \dots (22)$$

$$E_{TOTAL} = 20945070 \text{ Ws}$$

$$20945070 \text{ Ws} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 5818.075 \text{ Wh}$$

El cálculo de la capacidad de la batería se realiza teniendo en cuenta la tensión de trabajo del motor. Suponiendo una tensión de 60 Voltios. La capacidad necesaria de la batería será:

$$C_{AH} = \frac{E_{TOTAL}}{V} \dots \dots \dots (23)$$

$$C_{AH} = 96.96 \text{ Ah}$$

El resultado indica que el vehículo necesita una batería de 60 voltios con una capacidad de 96.96 Ah, para recorrer los 60 km de ciclo urbano. Después de esto habrá sufrido una descarga completa.

Para conseguir una duración óptima del vehículo es necesario que no se descargue habitualmente más de un 80%. Por ello es necesario incrementar su porcentaje  $C_{AH}$  tal que sea el 80% de su capacidad total de la batería (C)

$$C = \frac{C_{AH}}{0.8} \dots \dots \dots (24)$$

$$C = 121.2 \text{ Ah}$$

El peso de la batería con las características mencionadas, se puede calcular usando la densidad energética de (30 Wh/kg), para un tiempo de descarga de 05 horas.

Para esto calculamos el tiempo de descarga de la batería durante todo el recorrido:

$$T_{descarga} = T_{ciclo} * N_{ciclos} \dots \dots \dots (25)$$

$$T_{descarga} = 2 \text{ h } 46 \text{ min}$$

Usando la ecuación (26) se determina el peso de la batería.

$$P_{bt} = \frac{E_{TOTAL}}{d_E} \dots \dots \dots (26)$$

Dónde:

$P_{bt}$  : Peso de la batería en kg

$d_E$  : Densidad de la batería Wh/kg

$E_{TOTAL}$ : Energía total Wh.

$$P_{bt} = 193.93 \text{ kg}$$

Para tener un mejor rendimiento, se le suministrara un factor de seguridad de 90%. Entonces obtenemos lo siguiente:

$$P_{BATERIA} = 213.23 \text{ kg}$$

Se Determina el número de baterías a utilizar con los siguientes datos:

- Voltaje: 12 Vdc
- Intensidad: 120 Ah
- Potencia: 1440 W

Usamos la siguiente ecuación:

$$N_{BATERIA} = \frac{E_{TOTAL}}{P_{Bw}} \dots \dots \dots (27)$$

$$N_{BATERIA} = 4.04 \approx 5$$

### 3.5. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.

Para la construcción del prototipo vehicular eléctrico se procedió a hacer una evaluación de las etapas que lo comprendería, y pudimos definir las siguientes:

- Construcción de la Estructura.
- Simulación aerodinámica.
- Sistema de motorización.
- Baterías.
- Control.
- Elementos mecánicos.

### 3.5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

Para la realización de esta etapa se definió que la estructura del prototipo está hecha básicamente de acero ASTM A500, ya que este presenta propiedades mecánicas que son.

- Resistencia a la tracción : 310 MPa.
- Límite de fluencia : 230 MPa

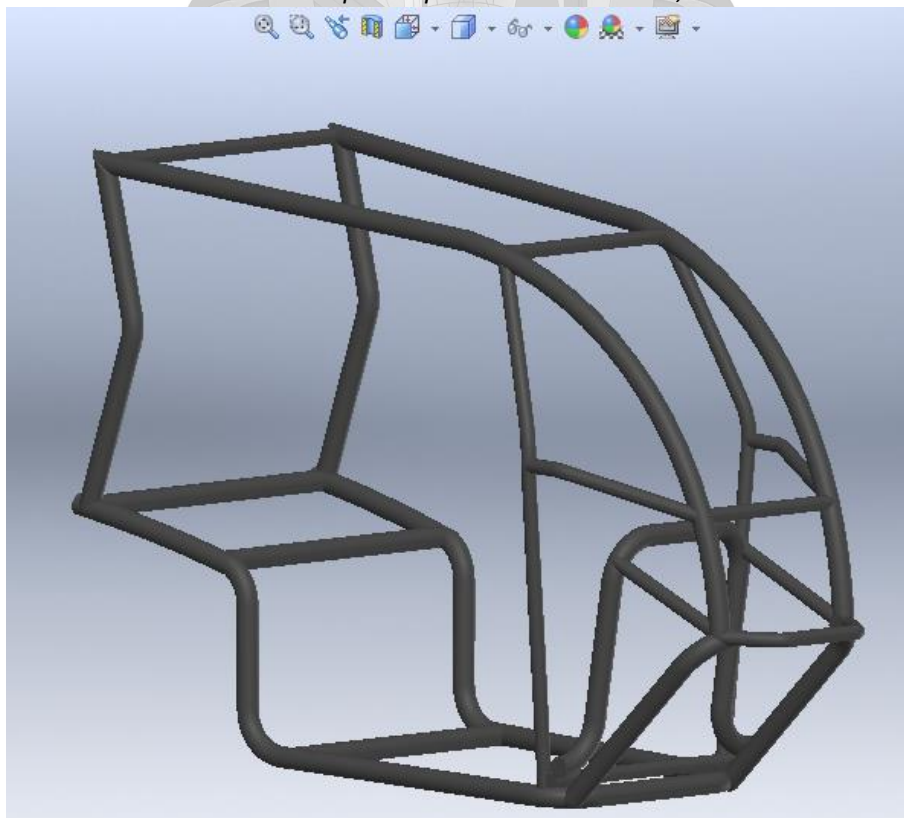
Para este caso, se hizo el modelado geométrico por computador, el cual comprende:

- Modelado 3D en software de diseño Solid Works.

Para nuestro modelo de prototipo se siguió criterios básicos de construcción:

- Ergonomía.
- Elección del modelo geométrico del tubo de la estructura.
- Costo de materiales.
- Apariencia física.
- El tipo de electrodo de soldadura utilizado en la construcción de la estructura, según la clasificación de la AWS es el E-6011.

*Ilustración 27: Chasis del prototipo vehicular eléctrico, hecho en Solid Works.*



*Fuente: Propia.*

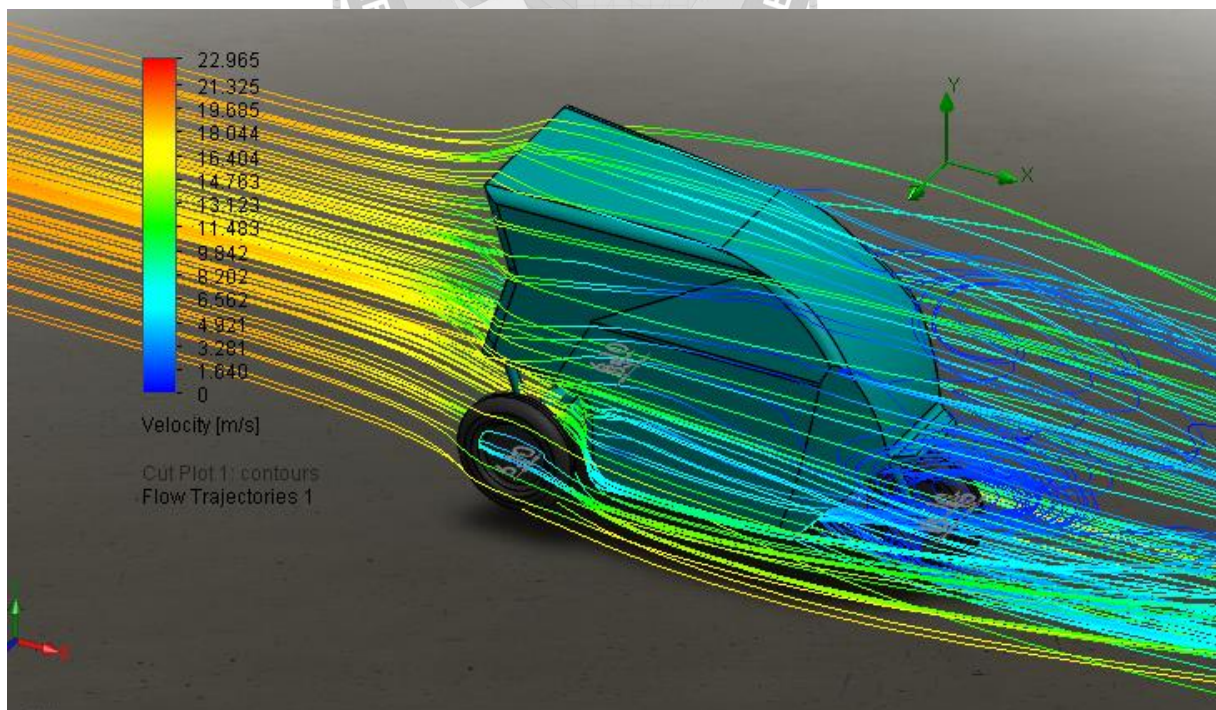


*Ilustración 28: Fotografía del Chasis construido*

Fuente: Propia.

### 3.5.2. SIMULACIÓN AERODINÁMICA.

Para poder corroborar el dato de la potencia del motor eléctrico requerido para el prototipo, se hizo la correspondiente simulación aerodinámica del vehículo.

*Ilustración 29: Simulación aerodinámica en Solid Works*

Fuente: Propia.

Los datos obtenidos de la simulación, fueron exportados a un archivo Excel, estos se muestran a continuación para hacer el análisis correspondiente.

### 3.EnsamblajeAerodinamico.SLDASM [3. Simulacion de vehiculo electrico]

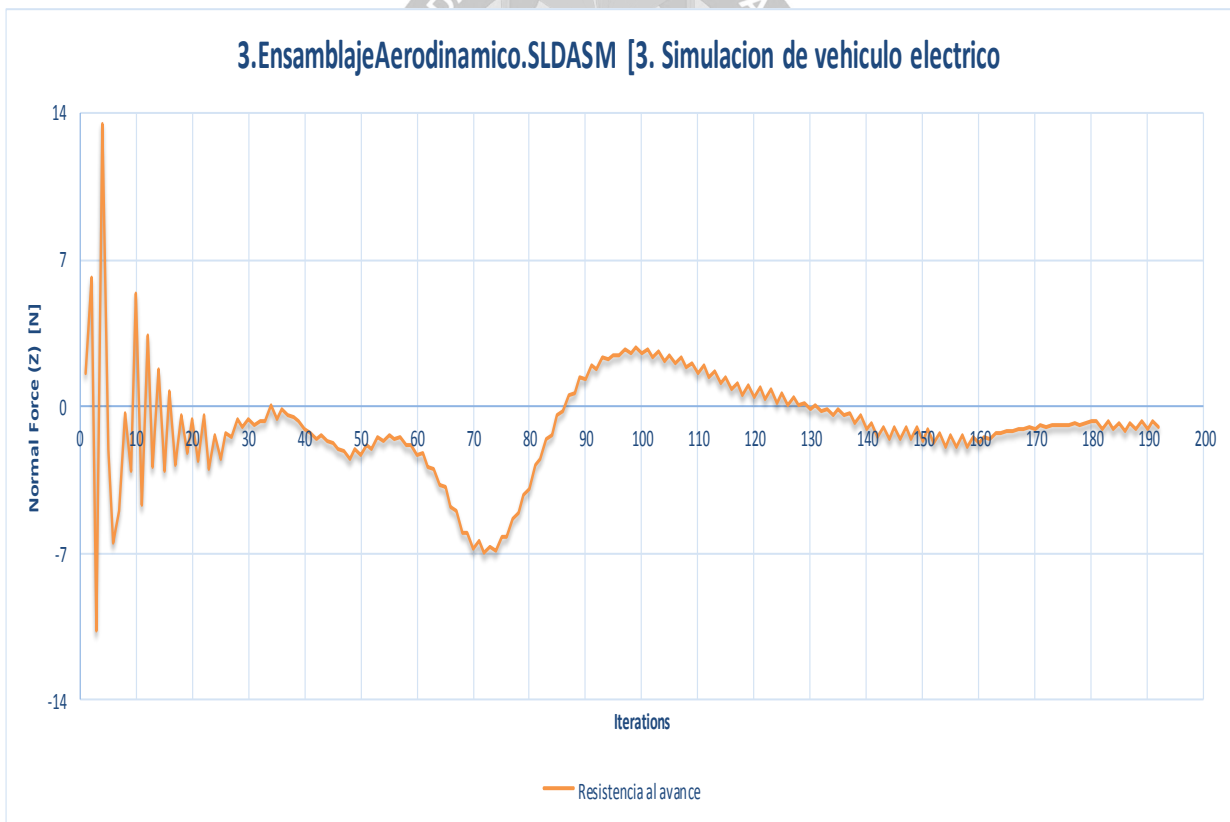
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
Resistencia al avance	[N]	-0.99635072	-1.068568794	-1.96800243	-0.641394746	100	Yes	0.677985898	0.72705635
Sustentacion	[N]	22.27688029	22.0350872	21.37748048	22.56187781	100	Yes	0.308575501	1.6622093

Iterations: 192

Analysis interval: 37

El valor máximo obtenido sobre la resistencia al avance es de 13.53 N, el cual equivale a 1.33 kg, este valor es sacado de la gráfica siguiente:

Diagrama 4: Curva de resistencia aerodinámica extraída del solid Works.



Fuente: Propia.

#### 3.5.3. SISTEMA DE MOTORIZACIÓN.

El motor eléctrico es la máquina principal de todo el prototipo, es por esto que después de los cálculos, se obtiene una potencia necesaria de 4.643 kW, entonces se selecciona la potencia requerida inmediata superior existente en



el mercado de tal forma sería de 5 KW. Las características seleccionadas son lo siguiente.

- ✓ Seleccionamos un motor eléctrico trifásico de inducción en corriente alterna de 60 V, el nivel de tensión está basada en el pack de baterías de 12 V sumado en 5 obtenemos 60 VDC, utilizando un inversor obtenemos 60 VAC trifásico. que es la tensión mínima de motores trifásicos existentes en el mercado.
- ✓ El presente motor eléctrico estará sometido a un esfuerzo de giro no lineal ya que la velocidad no se mantendrá constante, entonces se producirá constantemente un torque variable que nos conlleva aun calentamiento considerable, es por eso que elegimos un CLASE DE AISLAMIENTO DE TIPO "H", ya que este tipo de sistema tiene límites de temperatura conforme a la norma IEC 60034-1 soporta hasta 180°C sin afectar la vida útil del motor. Es por esto que el motor seleccionado cuenta con sensor de temperatura de tipo PTC y NTC envuelto en el arrollamiento de bobinado; la función principal enviar señales de temperatura al controlador para su respectivo bloqueo en caso de exceder su capacidad.
- ✓ Enseguida se toma otro dato importante que es el GRADO DE PROTECCIÓN, entonces según La noma IEC 60034-5 se define un grado de protección de Clase IP23, para motores abiertos con soporte de cuerpos extraños solidos con dimensiones por encima de 12mm, y para agua de lluvia hasta una inclinación de 60° con la vertical. Esto por el factor de clima lluvioso y exceso de polvo en nuestro medio ambiente.
- ✓ El grado de servicio que se seleccione es como mínimo S2-120min en constante funcionamiento ya que el presente proyecto está reflejada a un aumento de la autonomía de recorrido.
- ✓ La velocidad del motor según previo análisis y cálculos en el capítulo III nos basamos en una velocidad máxima de 70 km/h esto conlleva a seleccionar un motor eléctrico de 4 POLOS y 2800 rpm. Y con una frecuencia variable de 95HZ.

Finalmente se obtiene el motor eléctrico modelo GEV1143MA, Es un motor trifásico asíncrono de corriente alterna, es decir de inducción, se utilizan en vehículos eléctricos ya que son diseñados para tensiones menores y corrientes altas. Las ventajas que presentan estas sobre los motores de continua son por

ejemplo un menor tamaño para la misma potencia así como menor peso ya que la carcasa es fabricada con un material de poca densidad que es el aluminio. Su principio de funcionamiento se basa en la creación de un campo magnético giratorio al que intenta seguir el rotor del motor, por ello se denomina asíncrono, ya que nunca alcanza la velocidad de sincronismo del campo. Se observa que el motor ofrece un par proporcional a la diferencia de velocidad. La velocidad de estos motores es directamente proporcional a la frecuencia de alimentación. Con corriente continua se puede hacer funcionar el motor trifásico mediante un inversor para generar tensiones trifásicas alternas. Como sucede en el motor eléctrico de modelo GEV1143MA, es una gama de motores eléctricos trifásicos diseñados para mover con energía eléctrica de bajas tensiones, cuenta también con un sistema de protección interna es decir (sensor de temperatura) que viene incorporado al estator del motor; y un sensor de velocidad tipo EFECTO HALL. Este sistema permite enviar señales de velocidad mínimas y máximas al controlador para ser controlado.

*Ecuación 9: Motor eléctrico para el prototipo vehicular eléctrico.*



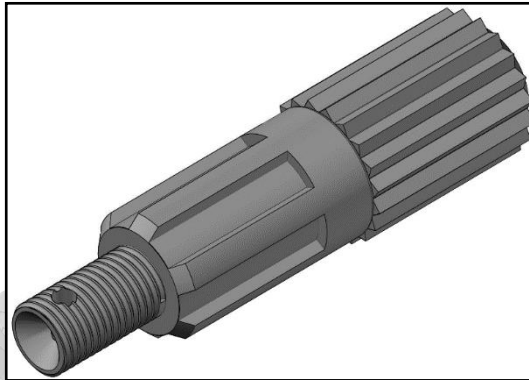
*Fuente: Propia.*

#### ESPECIFICACIONES:

MODEL	GEV1144MA
POTENCIA	5 KW
VELOCIDAD	2800 RPM
SERVICIO	S2 – 120min
AISLAMIENTO	H
VOLTAJE	60 VAC
CORRIENTE N.	96 AMP
FRECUENCIA	95 HZ
GRADO DE PROT.	IP23

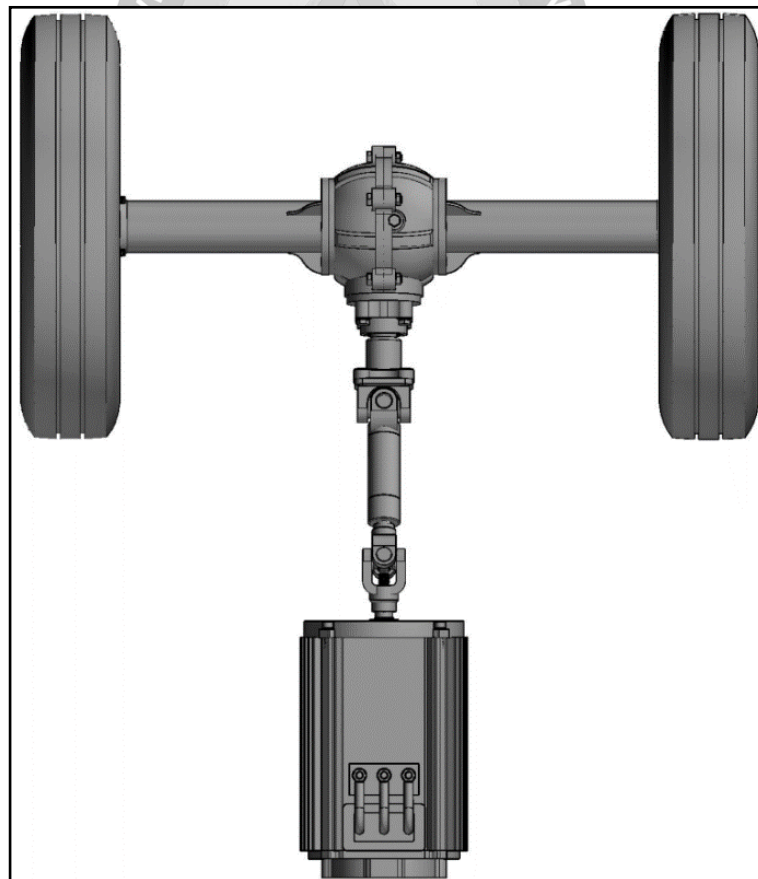
El acople del motor con el árbol diferencial se hizo a través de un piñón que fue previamente mecanizado, esta pieza sirvió para que transmitiera el movimiento en el árbol de la transmisión y este accione al palier del diferencial. Las diferentes medidas acerca del piñón y su disposición se muestran en el anexo

*Ilustración 30: Piñón para acople al motor eléctrico.*



*Fuente: Propia.*

*Ilustración 31: Vista superior del árbol de transmisión*



*Fuente: Propia*

### 3.5.4. BATERÍAS.

Para producir movimiento y alimentar de energía eléctrica al motor eléctrico es necesario una fuente de alimentación, la forma que vimos por conveniente para proveerla es por medio de un banco de baterías, en nuestro caso hemos realizado una serie de cálculos para el buen dimensionamiento de estas.

- Para la selección se basó en primera instancia la capacidad de las baterías para recorrer un ciclo urbano promedio. Para lo cual se dimensiono una capacidad de 121.2 Amp-H 12V, así como se detalla en el capítulo III, en el mercado se encuentra una batería con una capacidad de 120 Amp-H
- Por costos, se selecciona una batería de plomo ácido, en tipo GEL.

Finalmente se elige Baterías **Chilwee EVF Serie VRLA Gel** está especialmente diseñado para Vehículos eléctricos, es decir automóviles eléctricos, vehículos eléctricos de carretera, Carrito de golf, carro eléctrico de baja velocidad, etc. Y otros dispositivos requieren Fuente de alimentación de CC. La Serie EVF adopta el liderazgo internacional de Tecnologías para asegurar las baterías con características de ciclo largo de vida, gran capacidad de descarga de corriente, alta fiabilidad y seguridad, respetuoso del medio ambiente. (19)

*Ilustración 32: Batería para el prototipo vehicular eléctrico.*



*Fuente CHILWEE*

### CARACTERÍSTICAS:

**Vida extra larga:** La serie EVF de Chilwee se diseña con la aleación de rejillas de la alta calidad, permite que la rejilla con las características anticorrosión que contiene Baja la emisión de gases y tiene un excelente rendimiento de ciclo

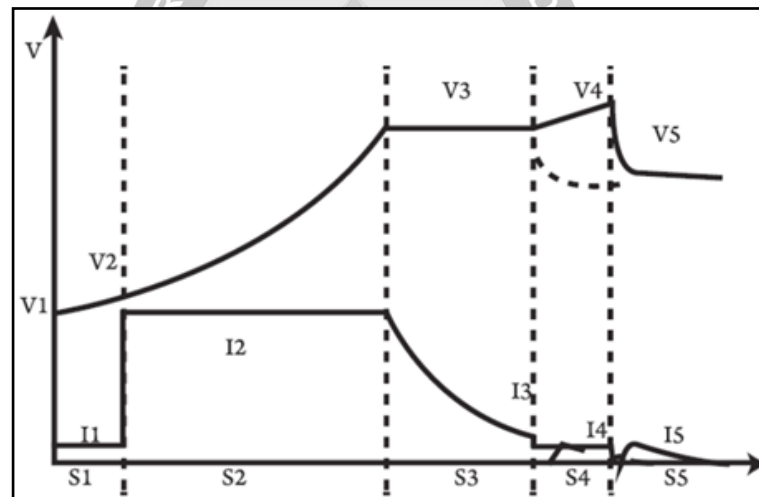
profundo. La prescripción de la goma se adopta para asegurar la vida de ciclo adicional larga. La vida del ciclo puede llegar a 600 ciclos. (19)

**Alta confiabilidad y seguridad:** Tapa de batería ABS de alta resistencia, diseño perfecto de seguridad, diseño terminal excelente de cobre de electro conductividad de la corriente, se adoptan para asegurar el EVF de Chilwee Serie.

**Adaptabilidad ambiental alta:** La serie de Chilwee EVF adopta el gel de sílice ahumado especial en el electrolito y el gel especial de tipo Separador para evitar la erosión del electrolito. Esto puede mejorar significativamente la vida útil de la batería y ambiental.

### CURVA DE CARGA Y MÉTODO.

Ilustración 33: Curva de carga y método. (19)



Fuente CHILWEE

### MÉTODO DE CARGA:

Cuando la batería está conectada al cargador, El cargador debe detectar el voltaje de la batería. Para las baterías Voltaje en o entre  $V1$ - $V2$ , la batería se cargará Corriente constante  $I1$ . Cuando la tensión de la batería alcanza  $V2$  o El tiempo de carga alcanza a  $S1$ , la carga entra en la siguiente etapa. (19)



Tabla 9: Parámetros de precarga.

Table 1 - Parameters for Pre-charge Stage

Battery Model	Voltage Range: V1 - V2 (V per Block)	Constant Current: I1 (A)	Pre-Charge Time: S1 (h)	Temperature Compensation (V/°C)
3-EVF-150	3.0V - 5.6V	2.5A - 3.0A	≤ 4h	-
3-EVF-200A / 3-EVF-200B	3.0V - 5.6V	3.1A - 3.6A		
3-EVF-180				
4-EVF-135	4.0V - 7.4V	2.2A - 2.7A		
4-EVF-150				
6-EVF-70B	6.0V - 11.1V	1.2A - 1.4A		
6-EVF-100A / 6-EVF-100B	6.0V - 11.1V	1.6A - 2.0A		
6-EVF-110B	6.0V - 11.1V	1.8A - 2.2A		
6-EVF-120	6.0V - 11.1V	2.0A - 2.5A		
6-EVF-150A / 6-EVF-150B	6.0V - 11.1V	2.5A - 3.0A		

Fuente CHILWEE

### ETAPA DE CARGA CORRIENTE CONSTANTE:

La corriente de carga es I2; Cuando La tensión de carga alcanza a V3 o el tiempo de carga alcanza a S2, la carga Entra en la siguiente etapa. Los parámetros se refieren a la Tabla 2

Tabla 10: Parámetros de carga a corriente constante.

Table 2 - Parameters for Constant Current Charge Stage

Battery Model	Voltage Range: V2 - V3 (V per Block)	Constant Current: I2 (A)	Pre-Charge Time: S2 (h)	Temperature Compensation (V/°C)
3-EVF-150	5.60V - 7.35V	20A - 40A	≤ 1.0C/I2 h	-0.012
3-EVF-200A / 3-EVF-200B	5.60V - 7.35V	20A - 40A		-0.012
3-EVF-180				
4-EVF-135	7.40V - 9.80V	15A - 25A		-0.016
4-EVF-150				
6-EVF-70B	11.40V - 14.70V	10A -17A		-0.024
6-EVF-100A / 6-EVF-100B	11.40V - 14.70V	15A - 25A		-0.024
6-EVF-110B	11.40V - 14.70V	15A - 25A		-0.024
6-EVF-120	11.40V - 14.70V	15A - 25A		-0.024
6-EVF-150A / 6-EVF-150B	11.40V - 14.70V	20A - 40A		-0.024

Fuente CHILWEE

### ETAPA DE VOLTAJE CONSTANTE Y CORRIENTE LIMITADA:

La corriente de carga máxima es I2, el voltaje constante es V3. Cuando la corriente de carga cae a I3, o el tiempo de carga alcanza S3, la carga entra en la siguiente etapa. Los parámetros se refieren a la Tabla 11.

Tabla 11: Parámetros de carga a Voltaje constante.

Battery Model	Voltage Range: V1 - V2 (V per Block)	Constant Current: I1 (A)	Pre-Charge Time: S1 (h)	Temperature Compensation (V/°C)
3-EVF-150	7.35V ± 0.03	2.7A ± 0.2	≤ 4.5h	-0.012
3-EVF-200A / 3-EVF-200B	7.35V ± 0.03	3.4A ± 0.2		-0.012
3-EVF-180	9.80V ± 0.04	2.7A ± 0.2		-0.016
4-EVF-135				
4-EVF-150				
6-EVF-70B	14.70V ± 0.05	1.3A ± 0.1		-0.024
6-EVF-100A / 6-EVF-100B	14.70V ± 0.05	1.8A ± 0.1		-0.024
6-EVF-110B	14.70V ± 0.05	2.0A ± 0.1		-0.024
6-EVF-120	14.70V ± 0.05	2.3A ± 0.1		-0.024
6-EVF-150A / 6-EVF-150B	14.70V ± 0.05	2.7A ± 0.1		-0.024

Fuente CHILWEE

### ETAPA DE LA CARGA DE GOTEO:

La corriente de carga es I4, la tensión de carga máxima es V4, el tiempo de carga limitado es S4. Cuando el tiempo de carga de corriente constante es inferior a 0,5 S2, la carga de goteo no está activada. Los parámetros se refieren a la Tabla 11. (19)

Tabla 12: Parámetros de Carga a goteo. (19)

Battery Model	Voltage Range: V1 - V2 (V per Block)	Constant Current: I1 (A)	Pre-Charge Time: S1 (h)	Temperature Compensation (V/°C)
3-EVF-150	8.00V ± 0.03	2.2A ± 0.2	≤ 1.5h	-0.012
3-EVF-200A / 3-EVF-200B	8.00V ± 0.03	2.7A ± 0.2		-0.012
3-EVF-180				
4-EVF-135	10.67V ± 0.04	2.0A ± 0.2		-0.016
4-EVF-150				
6-EVF-70B				
6-EVF-100A / 6-EVF-100B	16.00V ± 0.05	1.5A ± 0.1		-0.024
6-EVF-110B	16.00V ± 0.05	1.6A ± 0.1		-0.024
6-EVF-120	16.00V ± 0.05	1.8A ± 0.1		-0.024
6-EVF-150A / 6-EVF-150B	16.00V ± 0.05	2.2A ± 0.1		-0.024

Fuente CHILWEE

### ETAPA DE CARGA DEL FLOTADOR:

El voltaje de la carga es V5, tiempo de la carga es S5. Cuando en esta etapa, la carga puede estar mostrando la capacidad cargada es 100%. Los parámetros se refieren a la Tabla 5.

Tabla 13: Parámetros de carga flotador.

Table 5 - Parameters for Float Charge Stage				
Battery Model	Voltage Range: V1 - V2 (V per Block)	Constant Current: I1 (A)	Pre-Charge Time: S1 (h)	Temperature Compensation (V/°C)
3-EVF-150	6.90V ± 0.03	-	≤ 3h	-0.012
3-EVF-200A / 3-EVF-200B	6.90V ± 0.03			-0.012
3-EVF-180				-0.012
4-EVF-135	9.20V ± 0.04			-0.016
4-EVF-150				-0.016
6-EVF-70B	13.80V ± 0.05			-0.024
6-EVF-100A / 6-EVF-100B	13.80V ± 0.05			-0.024
6-EVF-110B	13.80V ± 0.05			-0.024
6-EVF-120	13.80V ± 0.05			-0.024
6-EVF-150A / 6-EVF-150B	13.80V ± 0.05			-0.024

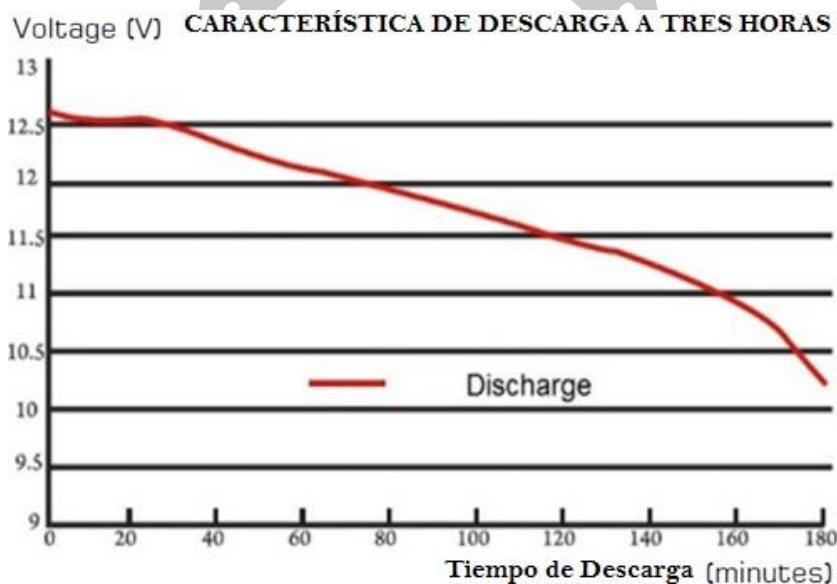
Fuente CHILWEE

## CURVAS CARACTERÍSTICAS:

Para poder tener un buen entendimiento acerca del funcionamiento de la batería tenemos las siguientes curvas características:

- Curva característica de descarga a tres horas.
- Efecto de la temperatura en la capacidad.
- Curva característica de la retención de la capacidad.
- Numero de ciclos Vs Capacidad.
- Curvas de descarga a diferentes etapas de descarga (25 °C)
- Ciclo de vida Vs profundidad de descarga.

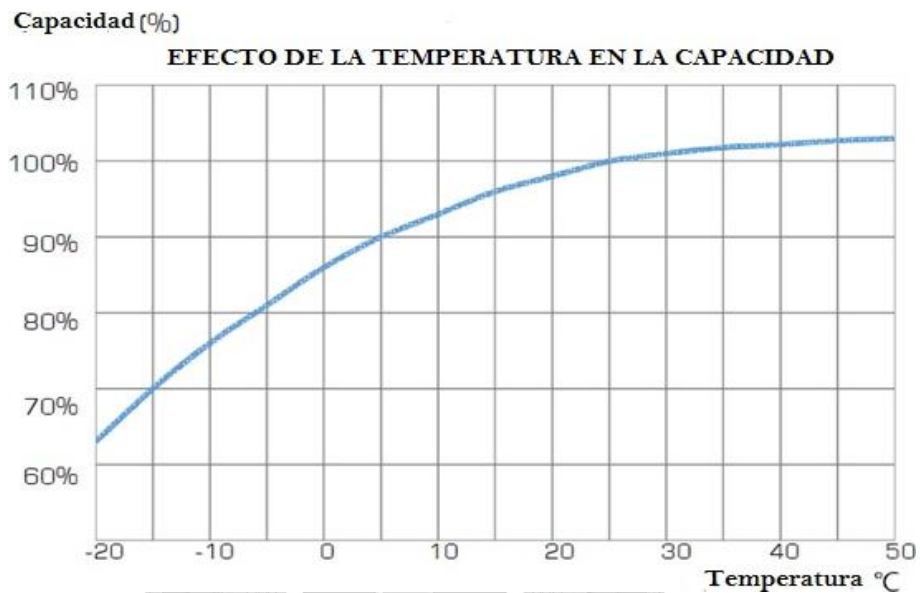
Diagrama 5: Características de descarga a tres horas.



Fuente CHILWEE

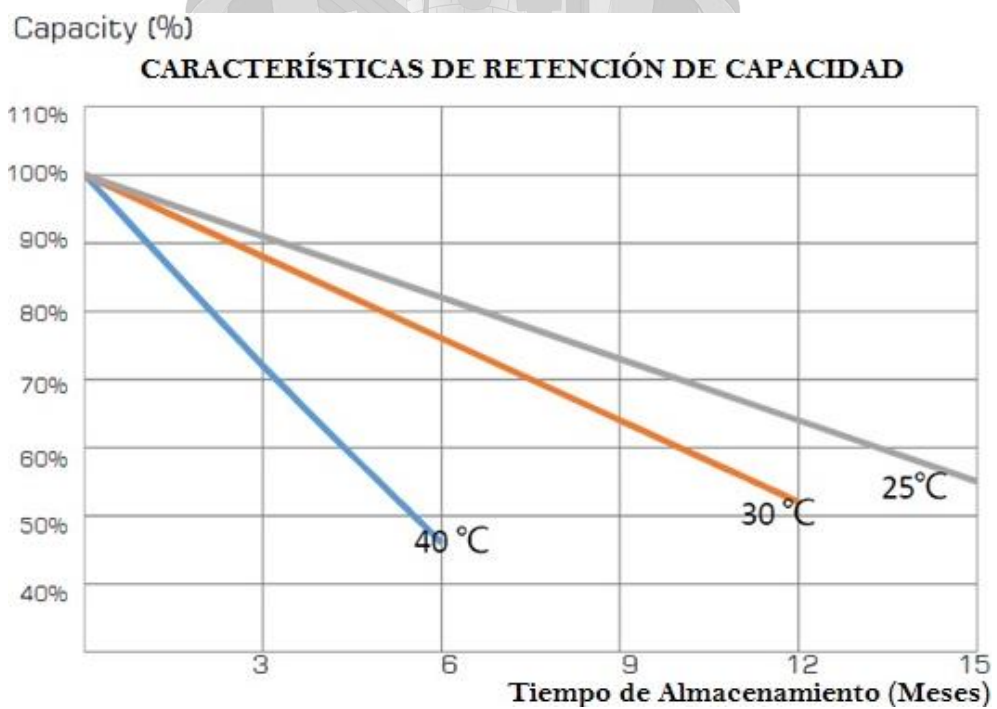


Diagrama 6: Efecto de la temperatura en la capacidad.



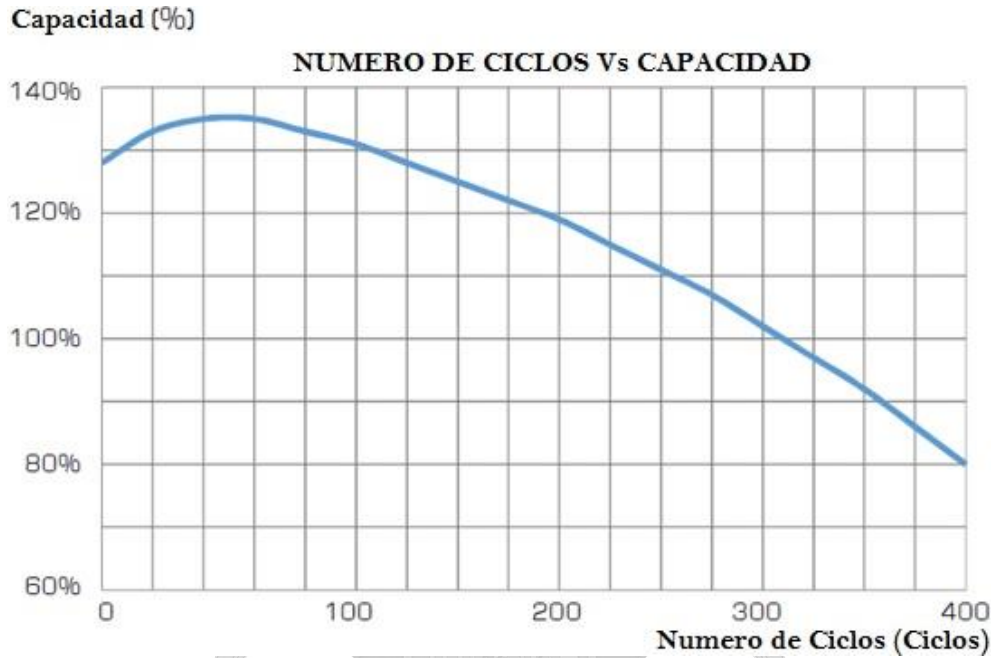
Fuente CHILWEE

Diagrama 7: Características de la retención de la capacidad de la batería.



Fuente CHILWEE

Diagrama 8: Numero de ciclos Vs Capacidad de batería.

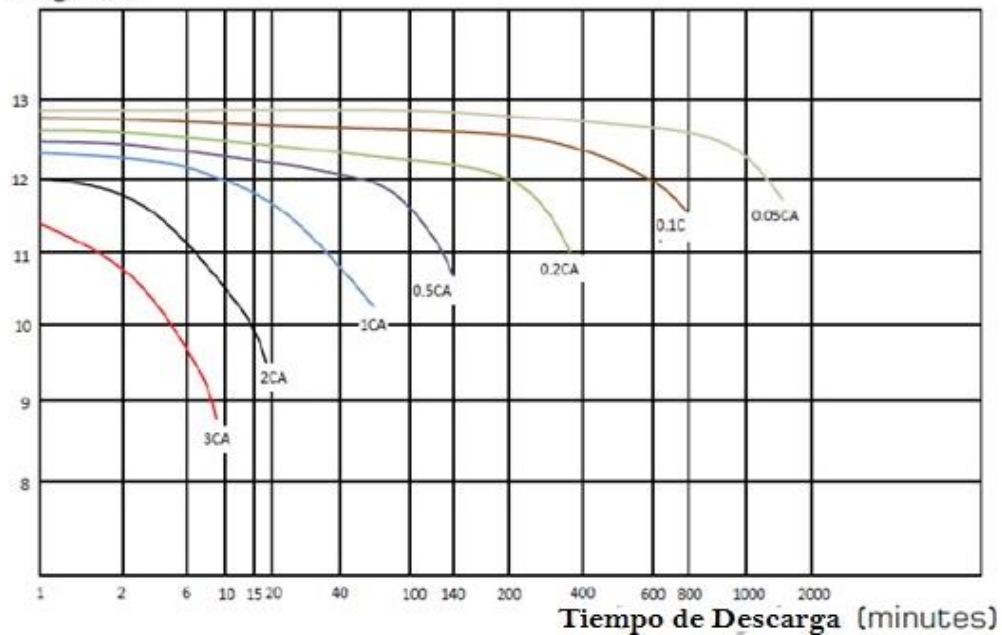


Fuente CHILWEE

Diagrama 9: Curvas de descarga a diferentes etapas de descarga.

**CURVAS DE DESCARGA A DIFERENTES ETAPAS DE DESCARGA (25°C)**

Voltage (V)



Fuente CHILWEE



Diagrama 10: Ciclo de vida Vs Profundidad de Descarga de la batería.

Ciclo de Vida (Ciclos)

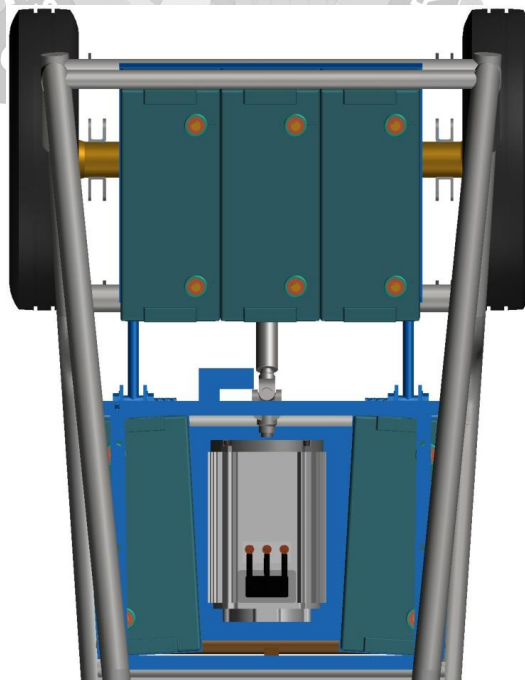


Fuente CHILWEE

La disposición del banco de baterías es en serie, donde se colocaron 5, para poder tener una tensión de 60 Vdc y una corriente de 120 Ah. Estos datos son requeridos por el motor, para que este pueda funcionar. Debido a su tamaño y peso, las baterías fueron ubicadas en la parte central y trasera del prototipo, anclándose por su propio peso.

En la siguiente imagen vemos la ubicación de las baterías instaladas en el prototipo hecho.

Ilustración 34: Disposición de las baterías.



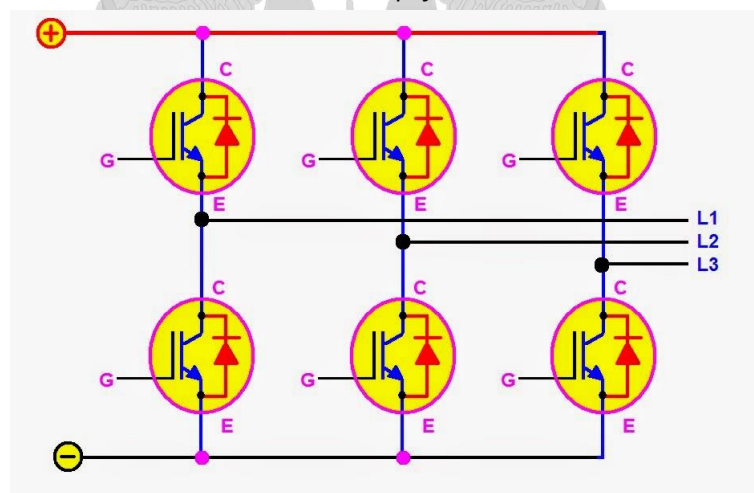
Fuente: Propia.

### 3.5.5. CONTROLADOR.

El controlador es un equipo electrónico para el control de un motor eléctrico, para alcanzar un control exacto de velocidad y el par de torsión. Para la selección del componente se basó en la potencia del motor eléctrico que es de 5 kW, tensión de entrada de pack de baterías 60 VDC, tensión de salida trifásica de 60 VAC para alimentar al motor eléctrico, entonces las características seleccionadas son lo siguiente.

- Inversor de potencia transforma la tensión CC a CA sinusoidal con amplitud constante y frecuencia estable. Permitiendo conectar el motor eléctrico con parámetros requeridas.

*Ilustración 35: Circuito simplificado del controlador.*



Finalmente se seleccionó el controlador Low Voltage AC Controller SINNEGLE es un regulador de CA de baja tensión se utiliza en el sistema de los vehículos eléctricos. Adopta el algoritmo avanzado internacional del control del motor de la CA para alcanzar un control exacto para la velocidad y el par de torsión del motor de CA. En comparación con el sistema de accionamiento de motor de CC, el sistema de accionamiento de CA puede lograr una gama más amplia de velocidad del motor para mejorar la velocidad de funcionamiento del vehículo; El motor de CA INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICO, totalmente cerrado, mantenimiento libre, la confiabilidad del sistema se mejora grandemente.

El sistema de la CA puede alcanzar una eficacia más alta, regeneración y control de energía flexibles, para extender con eficacia el kilometraje que conduce. Los controladores de la serie MC3336 son ampliamente utilizados en

vehículos eléctricos de pasajeros eléctricos de baja tensión de media y corta distancia alimentados por batería, vehículos de turismo eléctricos, furgonetas eléctricas, mini camiones, vehículos eléctricos y así sucesivamente.

## **FUNCIONES DEL CONTROLADOR LOW VOLTAGE AC CONTROLLER SINNEGLE:**

### **a. *FUNCIÓN DE ACELERADOR.***

El controlador recibe la señal del pedal acelerador (throttle pedal), en función del ángulo que presente (más o menos pisando) envía electricidad al motor. Imaginen que no tuviéramos controlador Toda la corriente que necesitamos para mover al motor habría de pasar por el acelerador que debería contar con un potenciómetro variable. Eso significaría que por un lado ese potenciómetro debería ser muy robusto y pesado (para que no se quemara), con alta posibilidad de que salten chispas en cuanto hubiera algo de separación; además consumiría muchísima corriente inútilmente. Solo por esta función el controlador para el auto eléctrico se hace imprescindible. Un controlador básico hace esta función simplemente.

### **b. *FUNCIÓN DE LIMITACIÓN DE REVOLUCIONES DEL MOTOR.***

Muchos controladores en el mercado permiten programación (los controladores pueden conectarse a una computadora externa) para limitar el régimen máximo de giro del motor, evitando que éste sufra daños.

### **c. *FUNCIÓN DE CUENTA REVOLUCIONES.***

Relacionada con la anterior pueden tener salida para un indicador de revoluciones que podemos llevar a nuestro cuadro de instrumentos.

### **d. *FUNCIÓN CONTRA SOBRECALENTAMIENTO.***

Cuando la temperatura del controlador excede un determinado límite, éste reduce la potencia empleada para evitar quemarse. Los controladores para autos eléctricos de potencias medias y altas llevan refrigeración líquida (lo que exige instalar un radiador específico y un ventilador). Los más básicos tienen que instalarse en lugares donde puedan evacuar el calor fácilmente.

**e. FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DE LAS BATERÍAS.**

Las baterías del auto eléctrico no deben descargarse por debajo de unos niveles. Si lo hicieran se dañarían irreversiblemente. Para evitar este efecto, se debe programar el controlador para que disminuya el gasto cuando se acerque ese punto e impida seguir circulando cuando se alcance (o al menos que lo advierta).

**f. FUNCIÓN ANTI-ARRANQUE SI SE PISA EL ACELERADOR ANTES DE CONECTAR EL VEHÍCULO.**

En caso contrario el auto saldría acelerando al conectarlo (o sea al girar la llave de contacto si estamos pisando el acelerador el auto saldría inmediatamente lo que puede ser peligroso)

**CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR LOW VOLTAGE AC CONTROLLER SINNEGLE:**

- Utiliza el DSP principal como chip principal para lograr la plataforma para el cálculo de control del motor.
- Posee el transistor MOSFET grande avanzado internacional de la energía como dispositivo de la energía, para alcanzar la conversión de la energía con bajo-ruido, eficacia alta.
- Utiliza el avanzado algoritmo de control vectorial para lograr el control preciso del par y la velocidad del motor.
- Frecuencia o retroalimentación de energía inversa y control para mejorar el rango de conducción personalizado del vehículo.
- Función de anti deslizamiento en la cuesta abajo y mejorar la seguridad de la conducción.
- Ajuste flexible para satisfacer los requisitos de una variedad de diferentes condiciones de la carretera y el entorno de conducción.
- Función de protección perfecta para el fallo del acelerador, bajo voltaje, sobretensión, sobre corriente, sobrecalentamiento, mejorar la fiabilidad del sistema.
- Comunicación CAN.
- Personalizar el software diferente para satisfacer los requisitos individuales.

Ilustración 36: Controlador usado en el prototipo vehicular eléctrico.



Fuente: Propia.

### CARACTERÍSTICAS:

MODEL	
POTENCIA	5 kW
VOLTAJE	72 V
VOLTAJE DE ENTRADA (DC)	50-96 VDC
VOLTAJE DE SALIDA (AC)	60 VAC 3 $\phi$
MÁXIMA SALIDA DE CORRIENTE (A/AC)	400
CORRIENTE NOMINAL DE SALIDA	120 AMP
FRECUENCIA	95 HZ
GRADO DE PROT.	IP23
VOLTAJE DE INICIO DEL CONTROLADOR	48 V
POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA	20 kW
TEMPERATURA DE AMBIENTE	-30°C / 55°C
CLASE DE PROTECCIÓN	IP 65
AISLAMIENTO	CORRIENTE DE FUGAS: 0.05 mA, RESISTENCIA DE AISLAMIENTO: 20 M $\Omega$
EFICIENCIA	0.98
ENFRIAMIENTO	Enfriamiento Automático
ESTANDAR DE VIBRACIÓN	GB/T2423
MODO DE CONTROL	Control de vector con sensor de velocidad
COMUNICACIÓN	CAN
PESO	5kg



### 3.6. PAR DE TRACCIÓN EN LAS RUEDAS.

Para determinar esto, se toma la ecuación siguiente:

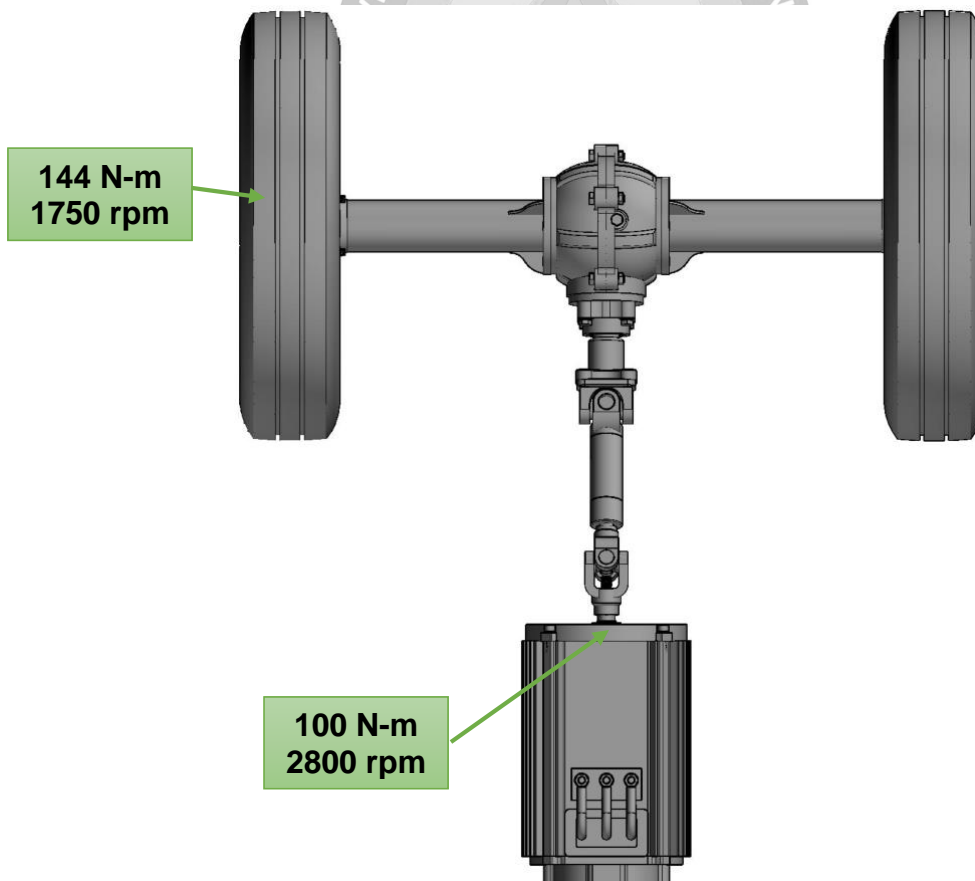
$$M_r = \frac{\eta * M_p}{r_i * r_f}$$

Donde:

- $M_r$  : Par máximo en las ruedas. (N-m)  
 $M_p$  : Par del motor eléctrico (N-m) a 2800 rpm  
 $r_i$  : Relación de transmisión en la caja de cambios, para este caso es 1, ya que no existe la mencionada caja.  
 $r_f$  : Relación de transmisión en el diferencial que es 1:1.16.  
 $\eta$  : Rendimiento de la transmisión, se considera 0.9

Reemplazando, se tiene:

$$M_r = \frac{0.9 * 100}{1 * \frac{1}{16}} = 144 \text{ N} - \text{m}$$



### 3.7. EFICIENCIA.

#### 3.7.1. EFICIENCIA DEL PROTOTIPO VEHICULAR.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{potencia consumida}} \times 100\%$$

$$\text{Potencia útil} = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad}$$

CALCULO DE EFICIENCIA DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO					
Peso (kg)	Velocidad(k m/h)	Fuerza (N)	Velocidad (m/s)	Potencia útil	Eficiencia (%)
1200	70	11772	19.4444444	228900	45.78

#### 3.7.2. EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO TEÓRICO.

HP	Corriente nominal(A)	Voltaje (AC)	Factor de P.	Eficiencia(%)
6.7	96	60	0.82	61.16897332

# **CAPITULO IV.**

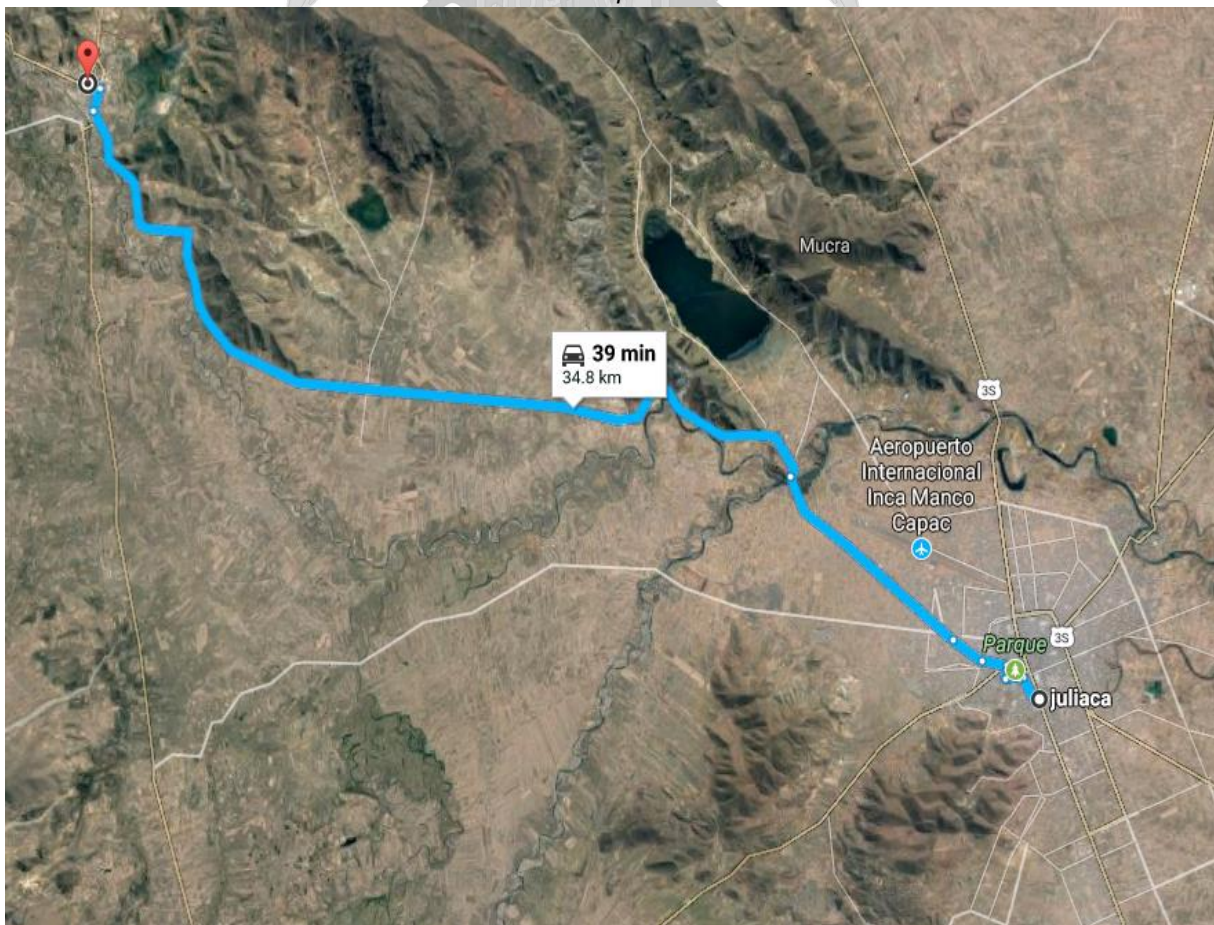
## **PRUEBAS DE CONDUCCIÓN DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.**

Una vez terminado la construcción del prototipo vehicular eléctrico, se procedió a realizar las pruebas correspondientes, para entender mejor el funcionamiento del vehículo a diferentes velocidades; pero para ello era necesario escoger la mejor ruta, todos estos puntos los detallamos seguidamente.

#### 4.1. RUTA PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE AUTONOMÍA.

Para la prueba de conducción se seleccionó la vía JULIACA-LAMPA, que tiene una longitud total de 34 km aproximadamente como se ve en el siguiente mapa. En esta vía, se comprobó la autonomía máxima, la velocidad angular, y los tiempos de aceleración y frenado en pista.

*Ilustración 37: Ruta de prueba de conducción*



*Fuente: Google earth.*



El prototipo vehicular eléctrico desarrollo el siguiente comportamiento para un tiempo 37 min,

- 0 – 40 km/h (0 – 666 m/min)	:	41 s = 0.683 min
- 40 – 60 km/h (666 – 1500 m/min)	:	20 s = 0.333 min
- Crucero 60 km/h (1500 m/min)	:	240 s = 4 min
- Crucero 50 km/h (1166.66 m/min)	:	420 s = 7 min
- Crucero 45 km/h (750 m/min)	:	900 s = 15 min
- Crucero 40 km/h (666.66 m/min)	:	600 s = 10 min
- Parada 40 – 0 km/h (666.66 – 0 m/min)	:	12 s = 0.2 min

#### 4.2. PRUEBA DE AUTONOMÍA.

Esta prueba consiste en saber la máxima autonomía de recorrido del prototipo vehicular eléctrico, donde vemos como la carga de la batería va disminuyendo según vamos recorriendo la ruta de prueba, los resultados de la prueba se muestran en el siguiente formato, realizado por nosotros.

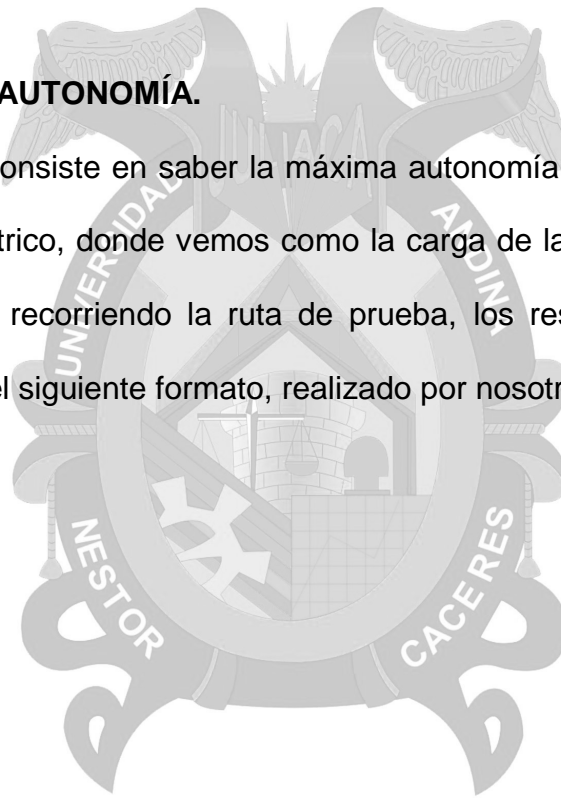



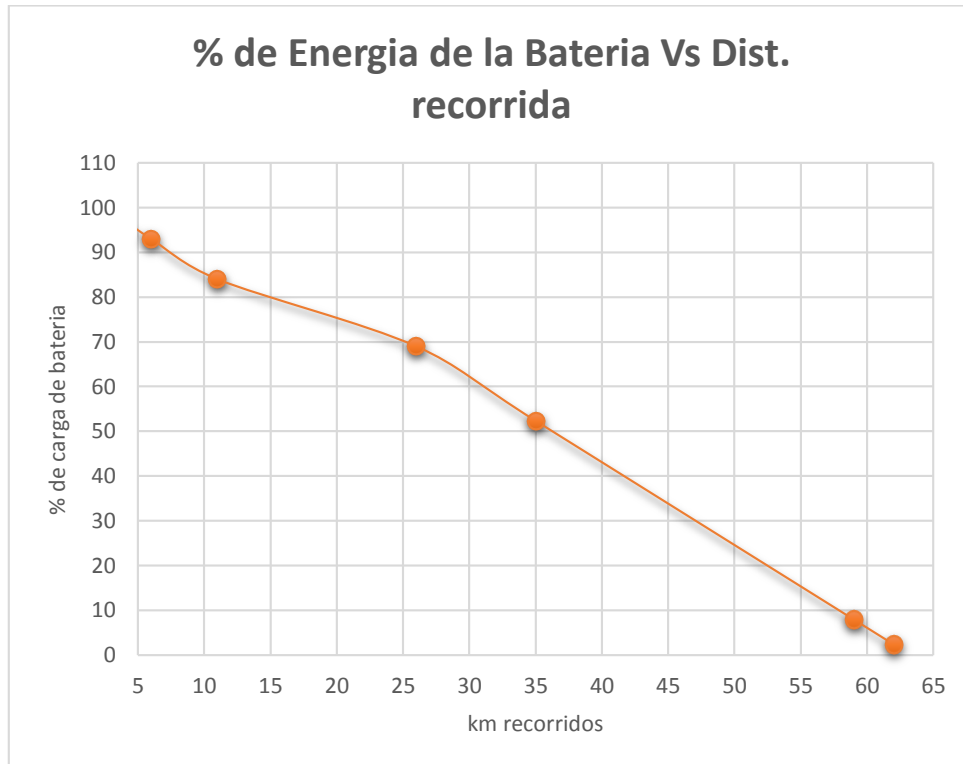
Tabla 14: Prueba de autonomía de prototipo vehicular eléctrico.

	CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA				
ELABORADO POR:	BACH. ARRATIA VALDEZ, YELHSIN HENRY ANTONY BACH. MAMANI APAZA, LEONEL				
VEHICULO DE PRUEBA:	PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO DE TRES RUEDAS	MODELO	VEA-YL001		
PRUEBA DE AUTONOMIA					
FECHA	VIA	DISTANCIA RECORRIDA (km)	DISTANCIA ACUMULADA (km)	ESTADO DE CARGA DE BATERIAS (%)	VELOCIDAD MEDIA (km/h)
18/03/2017	Domicilio en Av. Horacio Zevallos Gamez	0	0	100	0
19/03/2017	Conduccion en calles de la Urb. Horacio Zevallos Gamez	3	3	99	15
19/03/2017	Av. Horacio Zevallos G. - Av. Circunvalacion	3	6	93	30
20/03/2017	Av. Circunvalacion - Revisiones tecnicas San Martin	5	11	84	50
21/03/2017	Revisiones tecnicas San Martin - km 15 a Lampa	15	26	69	60
22/03/2017	km 15 - a ciudad de Lampa	9	35	52	62
23/03/2017	Ciudad de lampa - Av. Circunvalacion	24	59	8	55
24/03/2017	Av. Circunvalacion - Av. Horacio Zevallos G.	3	62	2	18
	TOTAL RECORRIDO	62		VELOCIDAD PROMEDIO	41
OBSERVACIONES: Los datos de velocidad y estado de carga de la bateria son tomados del DASHBOARD o Tablero					
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: La autonomia maxima en esta prueba fue de 62 km, con una carga al 99 % de la bateria.					

Fuente: Propia.

Y de los datos tomados, se puede sacar la gráfica correspondiente de “% de energía Vs Distancia Recorrida”. En ella se puede entender que la autonomía máxima del prototipo vehicular eléctrico es 62 km.

Diagrama 11: Curva de % de energía gastada en función a la distancia recorrida





.Fuente: Propia.

#### 4.3. PRUEBA DE VELOCIDAD ANGULAR.

Esta prueba consiste en poder encontrar las velocidades angulares del eje del palier y el eje del cardan, en base a las velocidades alcanzadas en km/h.

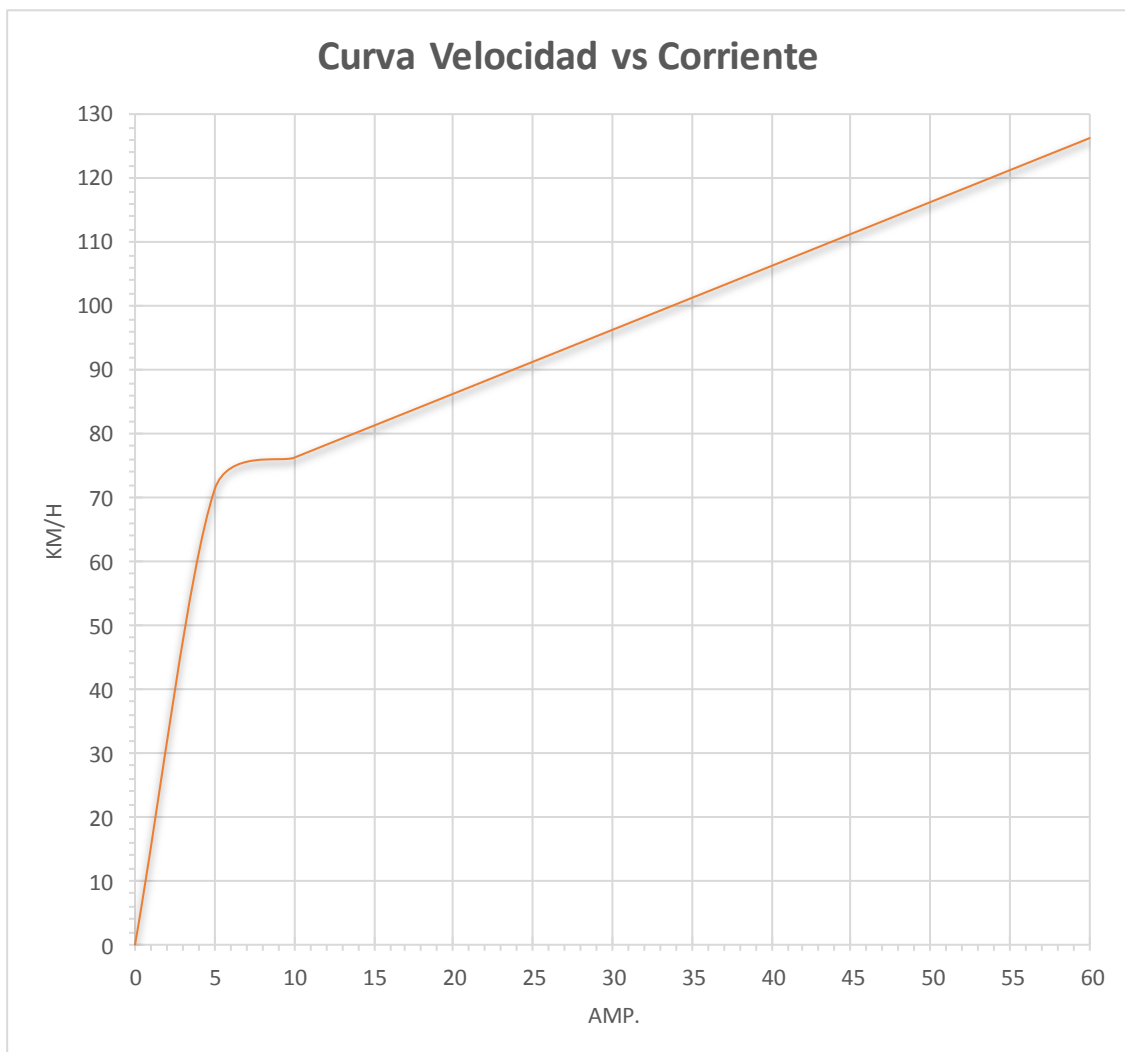
Diagrama 12: Prueba de velocidad angular del prototipo vehicular eléctrico

	CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
ELABORADO POR:	BACH. ARRATIA VALDEZ, YELHSIN HENRY ANTONY			
	BACH. MAMANI APAZA, LEONEL			
VEHICULO DE PRUEBA:	PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO DE TRES RUEDAS	MODELO	VEA-YL001	
PRUEBA DE VELOCIDAD ANGULAR				
Nro	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (km/h)	VELOCIDAD DEL EJE PALIER (rpm)	VELOCIDAD DEL CARDAN (rpm)	CORRIENTE DE CONSUMO (A)
1	0	0	0	0
2	5	52	83.2	71.2
3	10	104	166.4	76.2
4	15	156	249.6	81.2
5	20	208	332.8	86.2
6	25	260.1	416.16	91.2
7	30	312.1	499.36	96.2
8	35	364.1	582.56	101.2
9	40	416.1	665.76	106.2
10	45	468.1	748.96	111.2
11	50	520.1	832.16	116.2
12	55	572.1	915.36	121.2
13	60	624.1	998.56	126.2
INSTRUMENTOS USADOS: 01 pinza amperimetrica y 01 tacometro				
OBSERVACIONES: Los datos tomados del cardan, se basan en base a la relacion de transmision respecto al eje palier de la corona				
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: Sería recomendable tener nstalado un apreimetro en la parte del tablero del prototipo vehicular electrico				

Fuente: Propia.



Diagrama 13: Curva de velocidad del prototipo Vs Corriente consumida.



Fuente: Propia

# **CAPITULO V.**

## **CALCULO DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

El sistema regenerativo de energía eléctrica propuesto en la presente tesis de investigación, se basa en aprovechar la energía cinética del prototipo vehicular eléctrico producida en su movimiento, entonces se podrá obtener energía eléctrica para su regeneración de carga de la batería, convirtiendo al vehículo mucho más autónomo en comparación con los demás vehículos eléctricos convencionales. Todo este sistema se hará acoplando una serie de componentes eléctricos y mecánicos como son: alternadores, fajas, poleas, convertidores elevadores, etc. Los cuales los diseñaremos a continuación.

### 5.1. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Para esto, se dimensionara el alternador a utilizar, según los cálculos realizados anteriormente.

Primeramente se calculara los RPM producidos por el eje del palier del árbol de transmisión del prototipo vehicular eléctrico, donde se tiene que hacer antes una conversión de la velocidad lineal a rev/min según la formula siguiente:

- Tomaremos como referencia una velocidad media de 60 km/h

$$RPM_{eje} = \frac{\left(\frac{V}{60}\right)}{\pi * D_{rueda}} \dots \dots \dots (28)$$

Donde:

**RPM<sub>eje</sub>** : Revoluciones por minuto del eje del palier del prototipo vehicular eléctrico.

**V** : Velocidad del vehículo (m/min)

**D<sub>rueda</sub>** : Diámetro de la rueda (m)

$$RPM_{eje} = \frac{\left(\frac{60000}{60}\right)}{\pi * 0.5} = 636.62 \text{ rev/min}$$

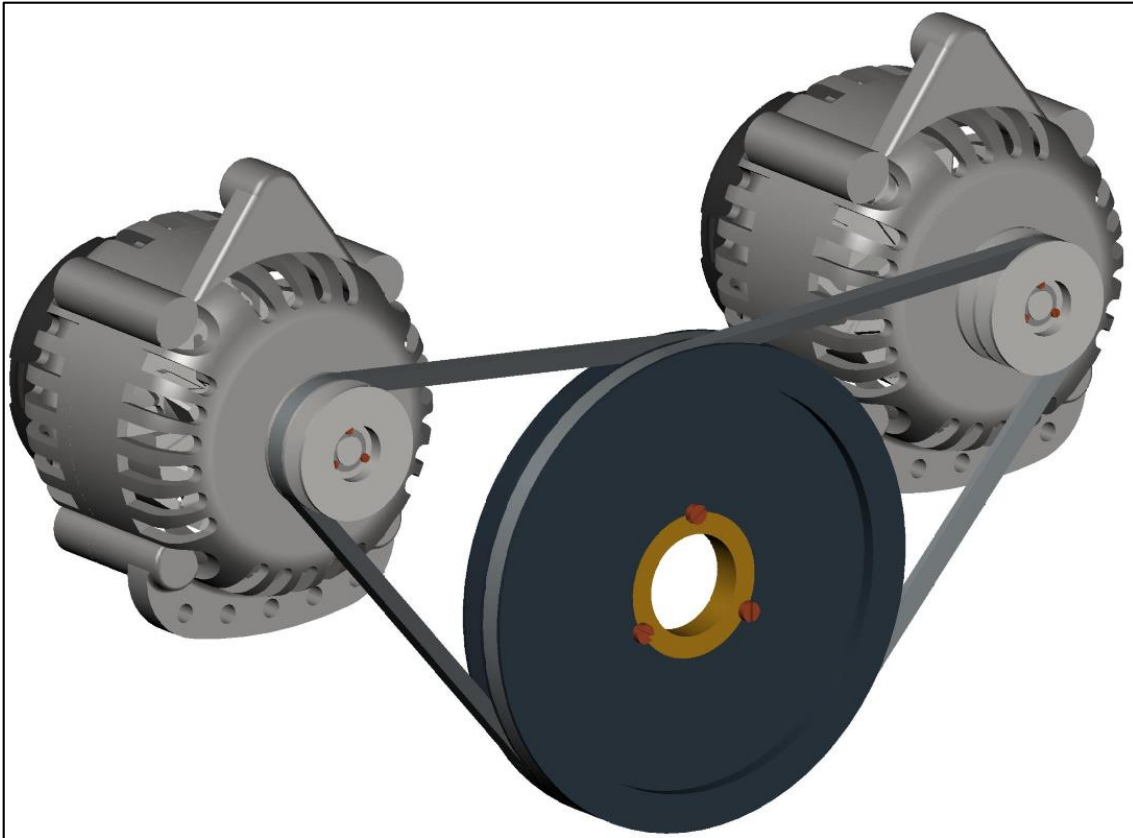
Esta velocidad es la del eje del palier, pero nosotros necesitamos saber la velocidad en el piñón de la corona, ya que será ahí donde se instalara la polea motriz principal para el impulso de las poleas del alternador.

Teniendo como relación de transmisión de 1:1.6 entre el eje del palier y el piñón de la corona.

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{N_1}{636.62} \rightarrow N_1 = 636.62 * 1.6 = 1019 \text{ rpm}$$

Considerando una relación de transmisión de 3.64:1, tal como se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 38: Grafica de la instalación de los alternadores y su modo de multiplicar la velocidad



Fuente: Propia.

Esto se demuestra en la formula siguiente

$$n = \frac{N_1}{D_2} = \frac{N_2}{D_1} \dots \dots \dots (29)$$

Donde:

$N_1$  : Numero de vueltas de la polea montada en el piñón de la corona.

$N_2$  : Numero de vueltas de la polea del eje del alternador.

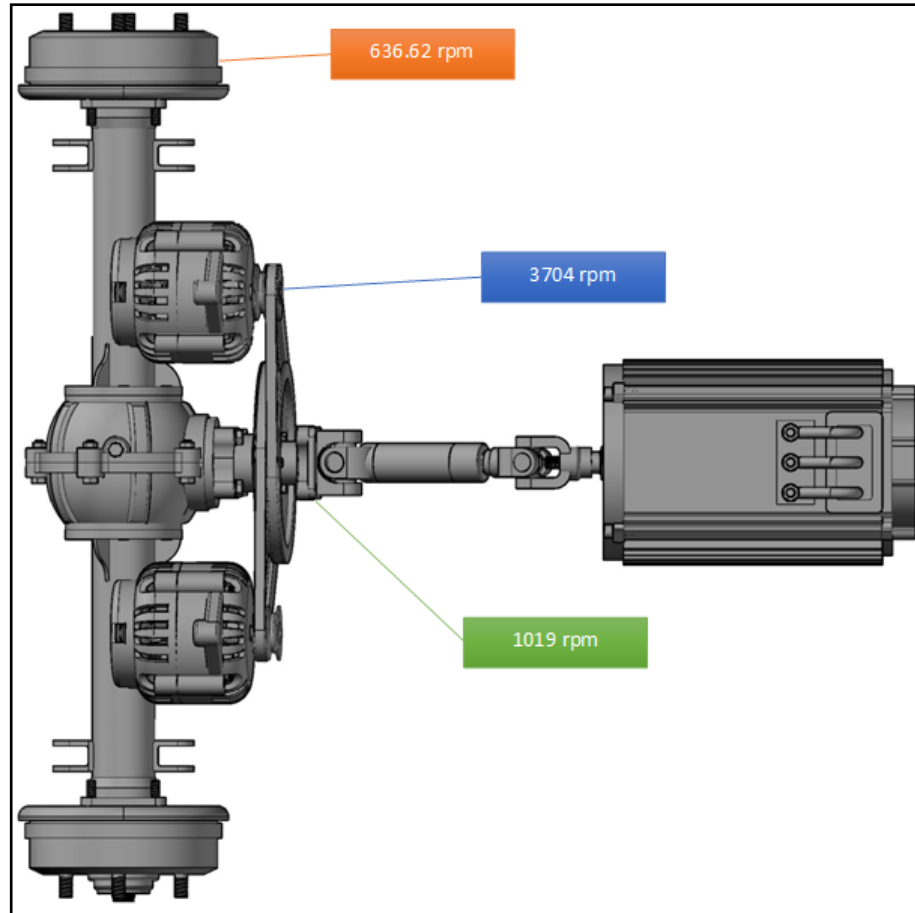
$D_1$  : Diámetro de la polea montada en el eje del cardan

$D_2$  : Diámetro de la polea del eje del alternador.

$$N_2 = \frac{N_1 * D_1}{D_2} = \frac{1019 * 0.2}{0.055} = 3704 \text{ rpm}$$



Ilustración 39: Instalación de los alternadores en conjunto con el árbol de transmisión



Fuente: Propia.

Tabla 15: Velocidad angular calculada para el alternador.

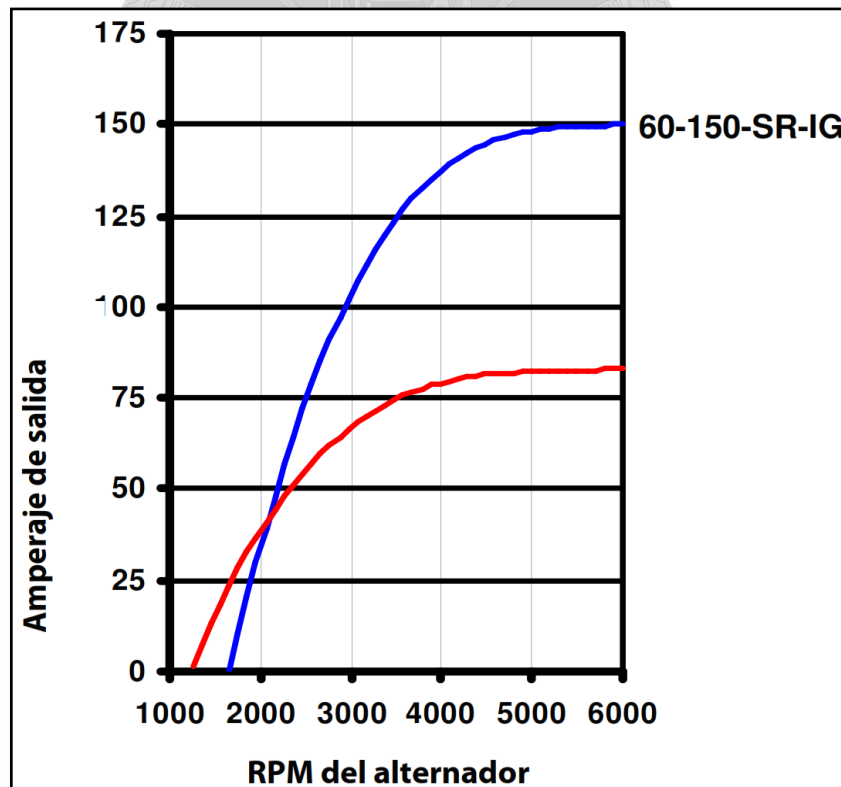
Nro	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (km/h)	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (m/min)	VELOCIDAD DEL EJE PALIER (rpm)	VELOCIDAD DEL PIÑÓN DE LA CORONA (rpm)	VELOCIDAD DE LA POLEA DEL ALTERNADOR (rpm)
1	0	0.00	0	0	0
2	5	83.33	53	85	309
3	10	166.67	106	170	617
4	15	250.00	159	255	926
5	20	333.33	212	340	1235
6	25	416.67	265	424	1543
7	30	500.00	318	509	1852
8	35	583.33	371	594	2161
9	40	666.67	424	679	2469
10	45	750.00	477	764	2778
11	50	833.33	531	849	3087
12	55	916.67	584	934	3395
13	60	1000.00	637	1019	3704

## 5.2. SELECCIÓN DEL ALTERNADOR.

El alternador a usar para este diseño presenta las siguientes características:

- Alternador de alto rendimiento 60-150-SR-IG 12V/150A, con regulador multietapa.
- Corriente Nominal : 150 A.
- Tensión nominal de Salida : 12 V
- Max. RPM : 15000
- Doble polea en V : Si
- Rotación : Horario
- Peso : 5.5 kg.

Diagrama 14: Curva de carga del alternador a diferentes RPM.



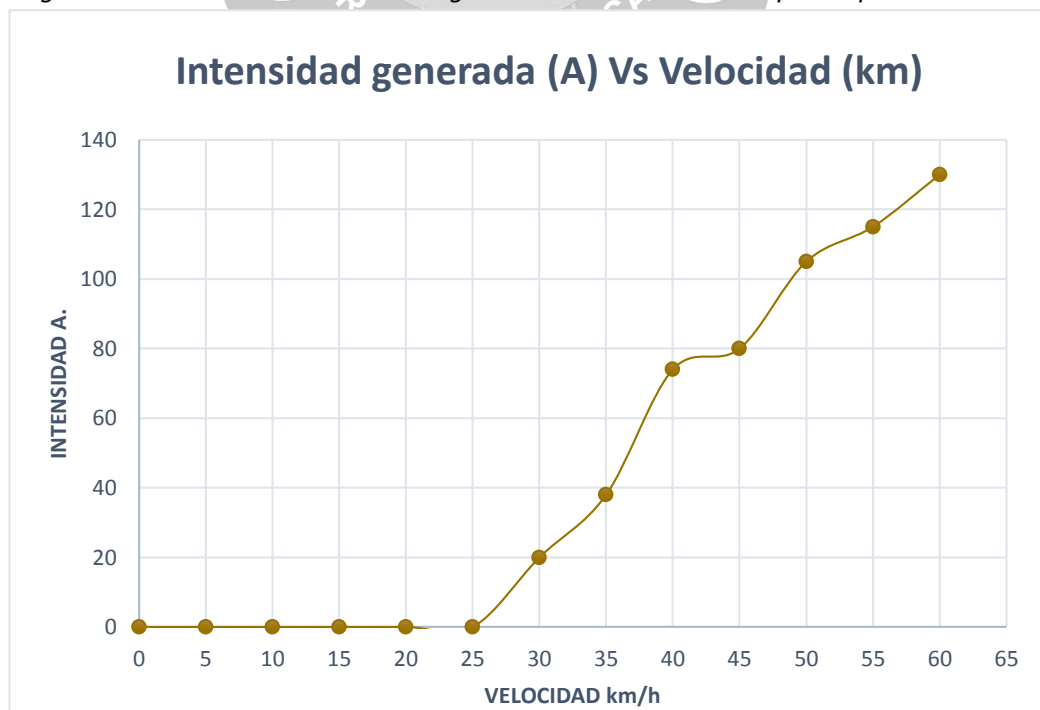
Deduciendo de la curva de carga del alternador y realizando los cálculos en base a la prueba de velocidad angular, podemos determinar aproximadamente cuanto de corriente se generara a cada velocidad del prototipo vehicular eléctrico, basándonos a los cálculos anteriores. Se tiene que para el alternador de diseño, para una velocidad de 3700 rpm, se genera una intensidad de 125 A

Tabla 16: Valores calculados de la intensidad generada por el alternador a diferentes velocidades.

Nro	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (km/h)	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (m/min)	VELOCIDAD DEL EJE PALIER (rpm)	VELOCIDAD DEL PIÑÓN DE LA CORONA (rpm)	VELOCIDAD DE LA POLEA DEL ALTERNADOR (rpm)	INTENSIDAD GENERADA A
1	0	0.00	0	0	0	0
2	5	83.33	53	85	309	0
3	10	166.67	106	170	617	0
4	15	250.00	159	255	926	0
5	20	333.33	212	340	1235	0
6	25	416.67	265	424	1543	0
7	30	500.00	318	509	1852	20
8	35	583.33	371	594	2161	38
9	40	666.67	424	679	2469	74
10	45	750.00	477	764	2778	80
11	50	833.33	531	849	3087	105
12	55	916.67	584	934	3395	115
13	60	1000.00	637	1019	3704	130

De esta tabla se puede obtener la siguiente gráfica:

Diagrama 15: Intensidad de corriente generada Vs. Velocidad del prototipo vehicular eléctrico.



En la gráfica vista se puede apreciar que nuestro prototipo vehicular eléctrico, aprovechando su velocidad en su desplazamiento puede generar una intensidad de 20 Ah a partir de 30 km/h; y con una velocidad máxima de 60 km/h puede generar hasta 130 Ah.

### 5.3. MODULO DE CONTROL: CONVERTIDOR ELEVADOR DC-DC BOOST.

Para poder controlar los parámetros de tensión y voltaje generada por el alternador, es necesario utilizar un equipo de control electrónico de potencia, que es conocido con el nombre de Convertidor Elevador DC-DC; para ello nos basamos en los siguientes datos.

- $V_{ENTRADA}$  : 12 V
- $I_{ENTRADA}$  : 130 A
- $V_{SALIDA}$  : 60 V
- $I_{SALIDA}$  : 26 A

El convertidor elevador DC-DC que encontramos en el mercado, que será considerado para nuestro diseño del sistema regenerativo es: **Convertidor DC-DC BOOST 1200 W 8-60 V a 12-83 V.**

La descripción del equipo es:

#### a. APLICACIONES:

- Fuente de alimentación auto ajustable, sólo tendrá que seleccionar la tensión de salida de la fuente de alimentación de entrada de 8V-60V y salida de 12V-83V. La tensión de salida no puede ser inferior a la tensión de entrada, ya que es un convertidor tipo Boost.
- Cargador tipo Boost con fuente de alimentación de 12V para baterías.

#### b. ESPECIFICACIONES.

- Voltaje de entrada: 8-60V
- Corriente de entrada: 150 A
- Corriente de reposo de funcionamiento: 15 mA
- Voltaje de salida: 12-83 V continuo ajustable



- Corriente de salida: 12, 30 A MAX, por favor reforzar la refrigeración (incluir ventilación)
- Rango de corriente: 0.3-20<sup>a</sup>
- Temperatura de trabajo: -40 ~ + 85 grados
- Frecuencia de trabajo: 150 kHz
- Eficiencia de conversión:  $\leq 95\%$  (eficiencia, entrada, tensión de salida, actual, diferencia de presión)
- Protección del cortocircuito: Fusible
- Dimensiones del módulo: 130mm x 52mm x 46mm (LxWxH)

### c. PARTES DEL MODULO.

Ilustración 40: Modulo del convertidor elevador DC - DC.

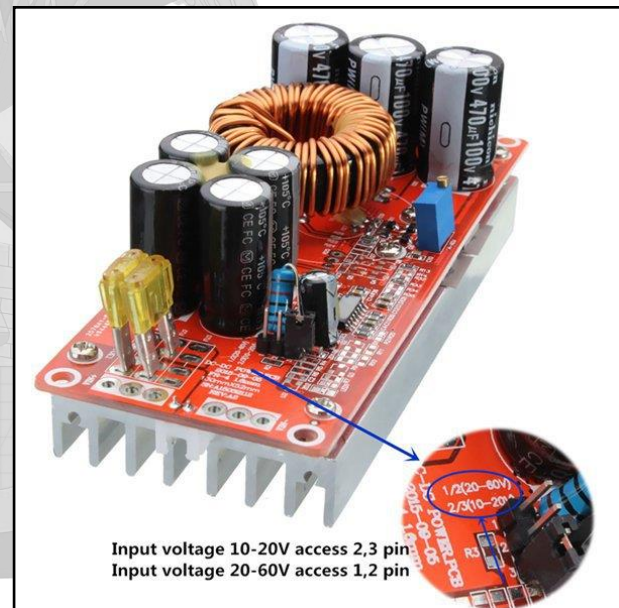
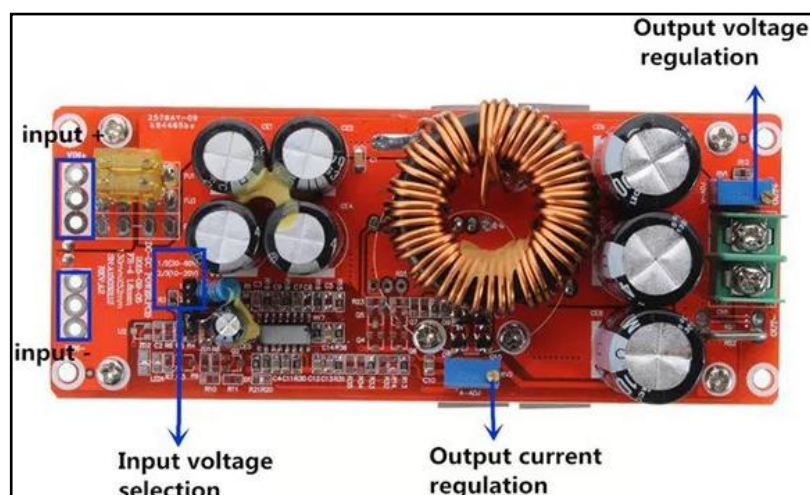


Ilustración 41: Partes del módulo convertidor elevador DC -DC.



#### 5.4. INTENSIDAD GENERADA CON EL CONVERTIDOR DC-DC BOOST 1200 W 8-60 V A 12-83 V.

El modulo del convertidor seleccionado, nos permitirá convertir la intensidad generada, por el alternador a valores diferentes según sea la velocidad que se tenga en el alternador instalado.

Tabla 17: Corriente de los 02 convertidores elevadores DC-DC.

INTENSIDAD GENERADA DEL ALTERNADOR A	INTENSIDAD GENERADA POR EL CONVERTIDOR DC-DC A	02 CONVERTIDORES DC-DC EN PARALELO A
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
20	4	8
38	8	15
74	15	30
80	16	32
105	21	42
115	23	46
130	26	52



# **CAPITULO VI.**

# **ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Como se sabe, el sistema regenerativo de energía eléctrica propuesto, comprende la instalación de 02 alternadores en paralelo. Además sabemos que el tiempo de autonomía máximo de nuestro prototipo vehicular eléctrico es de 74 min o 1.23 hr, esto se vio a una velocidad promedio de 41 km/h durante 64 km de recorrido.

### 6.1. TIEMPO DE RECARGA DEL PACK DE BATERÍAS.

Nuestro pack de baterías es de 60 V y 120 Ah, y utilizando su cargador de baterías de 60 V y 35 Ah; podemos determinar el tiempo de recarga conectado a la red.

Tabla 18: Dato de tiempo de carga del pack de baterías con el cargador.

PACK DE BATERIAS Ah	CARGADOR DE BATERIA A	TIEMPO DE RECARGA EN HORAS.
120	35	3

En la siguiente tabla podemos ver la cantidad de horas de recarga necesarias a diferentes velocidades del prototipo vehicular eléctrico con el sistema regenerativo de energía eléctrica.

Diagrama 16: Velocidad del prototipo vehicular eléctrico Vs el tiempo de recarga.

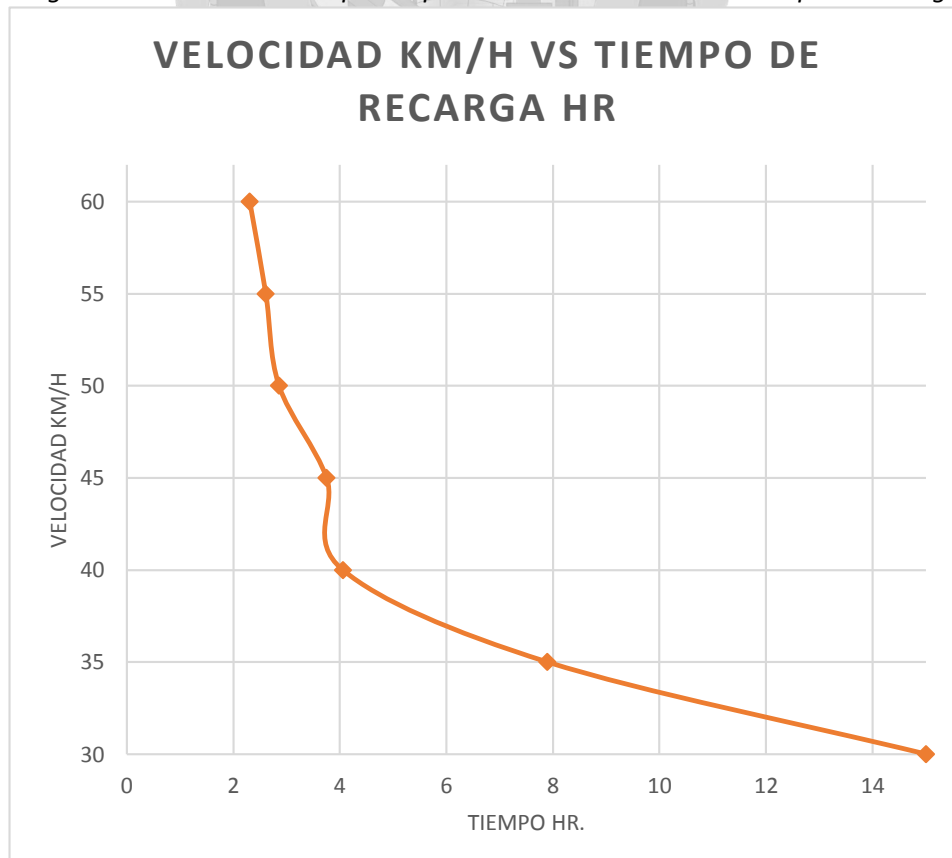




Tabla 19: Tiempo de horas necesarias para la recarga con el Sist. Regenerativo de energía eléctrica.

VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (km/h)	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (m/min)	02 CONVERTIDORES DC-DC EN PARALELO A	TIEMPO DE RECARGA EN HORAS.
0	0.00	0	-
5	83.33	0	-
10	166.67	0	-
15	250.00	0	-
20	333.33	0	-
25	416.67	0	-
30	500.00	8	15.00
35	583.33	15	7.89
40	666.67	30	4.05
45	750.00	32	3.75
50	833.33	42	2.86
55	916.67	46	2.61
60	1000.00	52	2.31

Fuente: Propia.

## 6.2. AUMENTO DE LA AUTONOMÍA CON EL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Durante la prueba de conducción en la vía Juliaca – Lampa, que tuvo un recorrido de 62 km, calcularemos el % de la autonomía que se hubiese aumentado con el sistema regenerativo de energía eléctrica que se propone.

Tabla 20: Valores de % de aumento de la autonomía del prototipo vehicular eléctrico.

DISTANCIA ACUMULADA km	VELOCIDAD MEDIA (km/h)	TIEMPO EN Hr.	% DE CARGA DE BATERIAS
0	0	0.00	0.0
3	15	0.04	0.0
6	30	0.05	0.3
11	50	0.41	14.3
26	60	0.19	8.3
35	62	0.10	4.4
59	55	0.37	14.2
62	18	0.07	0.0
TIEMPO TOTAL Hr		1.23	
% TOTAL DE CARGA		41.5	

En la tabla anterior se ve que el porcentaje de la batería que hubiese cargado con el sistema regenerativo de energía eléctrica es de 41.5 %, y se denota que la autonomía máxima que tuvimos de 1 hora y 14 puede ser aumentada en este caso 30 min más, con lo que se demuestra que la autonomía de recorrido ha aumentado.

A continuación se muestra el cuadro detallado de la generación de energía eléctrica a diferentes velocidades y el tiempo necesario de recarga.

Tabla 21: Cuadro resumen de tiempo de recarga, velocidades angulares, corrientes.

Nro	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (km/h)	VELOCIDAD DEL PROTOTIPO (m/min)	VELOCIDAD DEL EJE PALIER (rpm)	VELOCIDAD DEL PIÑON DE LA CORONA (rpm)	VELOCIDAD DE LA POLEA DEL ALTERNADOR (rpm)	INTENSIDAD GENERADA DEL ALTERNADOR A	INTENSIDAD GENERADA POR EL CONVERTIDOR DC-DC A	02 CONVERTIDORES DC-DC EN PARALELO A	TIEMPO DE RECARGA EN HORAS.
1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	-
2	5	83.33	53	85	309	0	0	0	-
3	10	166.67	106	170	617	0	0	0	-
4	15	250.00	159	255	926	0	0	0	-
5	20	333.33	212	340	1235	0	0	0	-
6	25	416.67	265	424	1543	0	0	0	-
7	30	500.00	318	509	1852	20	4	8	15.00
8	35	583.33	371	594	2161	38	8	15	7.89
9	40	666.67	424	679	2469	74	15	30	4.05
10	45	750.00	477	764	2778	80	16	32	3.75
11	50	833.33	531	849	3087	105	21	42	2.86
12	55	916.67	584	934	3395	115	23	46	2.61
13	60	1000.00	637	1019	3704	130	26	52	2.31
13	62	1033.33	658	1053	3827	131	26	52	2.29

Fuente: Propia.



# CAPITULO VII.

## ANÁLISIS ECONÓMICO.



## 7.1. COSTOS DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS.

Los costos que tuvo este proyecto los clasificamos de la siguiente manera:

- Costos de compra de materiales de China.
- Costos de materiales.
- Costos de herramientas adquiridas
- Costos de los servicios realizados en diversos talleres.
- Costos de consumibles.
- Costos varios como los viáticos.

Los vemos con más detalle en el siguiente cuadro.

<b>GASTOS DE PROYECTO TESIS</b>						
<b>Nro.</b>	<b>ARTICULO/DESCRIPCION</b>	<b>MARCA/MODELO</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Und.</b>	<b>PRECIO TOTAL S/.</b>
<b>EQUIPOS ADQUIRIDOS DE CHINA</b>						
1	Motor Eléctrico 5kw 60VAC	GEV1143MA	1254.00	1	Und.	1,254.00
2	Controlador 5kw 60V y Accesorios	SINNEGLE	1749.00	1	Glob.	1,749.00
3	Convertor DC-DC 60V-12V 600W	FOSHAN	478.50	1	Und.	478.50
4	Baterías de Gel Plomo Ácido	GEL 6-EV-120	504.90	5	Und.	2,524.50
5	Dashboard 60V	FOSHAN	198.00	1	Und.	198.00
6	Coulombmeter	FOSHAN	59.40	1	Und.	59.40
7	transporte desde china - junaca		2149.26	1	Glob.	2,149.26
8	Desaduanaje		4744.31	1	Glob.	4,744.31
9	Impuesto		311.07	1	Glob.	311.07
10	IGV		1576.35	1	Glob.	1,576.35
11	Comision del Importador		779.70	1	Glob.	779.70
<b>MATERIALES</b>						
12	Llantas		50.00	3	Und.	150.00
13	Aros		70.00	3	Und.	210.00
14	Corona		390.00	1	Und.	390.00
15	Telescopios		250.00	1	Und.	250.00
16	Timón	bedge	20.00	1	Und.	20.00
17	Asiento		35.00	1	Und.	35.00



18	Tubo negro 1 1/2" x 2mm x 6m	Aceros Arequipa	74.80	1	Und.	74.80
19	Tubo negro 1 1/2" x 1.8mm x 6m	Aceros Arequipa	69.40	1	Und.	69.40
20	Tubo negro 1" x 1.8mm x 6m	Aceros Arequipa	25.90	1	Und.	25.90
21	Tubo negro 1/2" x 1.8mm	Aceros Arequipa	2.00	1	Und.	2.00
22	Pletinas	Aceros Arequipa	29.00	1	Und.	29.00
23	Fierro liso 1/2"	Aceros Arequipa	6.00	1	Und.	6.00
24	Ángulo 38x38x2mm	Aceros Arequipa	20.00	1	Und.	20.00
25	Plancha 4mm	Aceros Arequipa	8.00	1	Und.	8.00
26	Plancha 3mm	Aceros Arequipa	4.00	2	Und.	8.00
27	Plancha 1/4	Aceros Arequipa	6.00	1	Und.	6.00
28	Pletina en T	Aceros Arequipa	6.00	1	Und.	6.00
29	Cuello de Botella		25.00	1	Und.	25.00
30	Rodajes		15.00	2	Und.	30.00
31	Tambor y Tapa		74.00	1	Glob.	74.00
32	Varillas de freno		5.00	3	Und.	15.00
33	Manijas		2.50	2	Und.	5.00
34	Pemeria		42.80	1	Glob.	42.80
35	Resortes		3.00	1	Und.	3.00
36	Focos		100.00	1	Glob.	100.00
37	Retrobisores		25.00	2	Und.	50.00
38	Fuente Bibliográfico	Libro de Emilio Pellicer	200.00	1	Und.	200.00
39	Funda de Asiento		100.00	1	Glob.	100.00
40	Interruptor termico de 3*120 Amp	STRONGER	100.00	1	Und.	100.00
<b>HERRAMIENTAS</b>						
41	Juego de llaves mixta	Diamond	38.00	1	Und.	38.00
42	Juego de llaves Allen		12.00	1	Und.	
43	Disco de corte	3M	6.00	9	Und.	54.00
44	Disco de Desbaste	3M	6.50	3	Und.	19.50
45	Chascosa		8.90	1	Und.	8.90
46	Juego de reglas		3.90	1	Und.	3.90
47	Broca		10.00	1	Und.	10.00
48	Escuadra		8.00	1	Und.	8.00
49						0.00
<b>SERVICIOS</b>						
50	Trabajo de Tomo	Talleres varios	10.00	1	Glob.	10.00
51	Trabajo de Fresa	Talleres varios	140.00	1	Glob.	140.00
52	Cambio de Aro y Cámara	Talleres varios	30.00	1	Glob.	30.00
53	Doblada de Tubos	Talleres varios	58.00	1	Glob.	58.00
54	Pago de Servicios al Soldador	Talleres varios	70.00	1	Glob.	70.00
55	Agujero de la Plancha	Talleres varios	5.00	1	Glob.	5.00
56	Soldadura del Cardán	Talleres varios	10.00	1	Glob.	10.00
57	Soldadura de Frenos	Talleres varios	100.00	1	Glob.	100.00



CONSUMIBLES						
58	Electrodo	Cellocord	88.00	1	Glob.	88.00
59	Grasa		2.00	1	Und.	2.00
60	Lijar	3M	2.00	2	Und.	4.00
61	Pintura		50.00	1	Gal	50.00
OTROS						
62	Transportes	Urbano	50.00	1	Glob.	50.00
63	Viáticos	Ciudad de Juliaca	50.00	1	Glob.	50.00
64	Adicional		37.00	1	Glob.	37.00
TOTAL DE GASTOS S/.						<b>18,725.28</b>

El presente proyecto tuvo un costo de S/. 18, 725.28. El cual fue íntegramente financiado por los tesisistas del presente proyecto de investigación

## 7.2. COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

COSTO DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGIA ELECTRICA						
Nro.	ARTICULO/DESCRIPCION	MARCA/MODELO	PRECIO S/.	CANTIDAD	Und.	PRECIO TOTAL S/.
EQUIPOS						
1	Alternador de alto rendimiento	VICTRON ENERGY	800.00	2	Und.	1,600.00
2	Polea en V de dos carriles de Ø5.5 cm		50.00	2	Glob.	100.00
3	Polea en V de dos carriles de Ø20 cm		120.00	1	Und.	120.00
4	Fajas en V	S/M	45.00	2	Und.	90.00
5	Modulo de convertidor elevador DC-DC	BOOST	700.00	1	Und.	700.00
MATERIALES						
6	pedazo de plancha de acero de 1/4"	Aceros Arequipa	30.00	2	Und.	60.00
7	Pernera		20.00	4	Und.	80.00
8	Cables de energia de 1x16 mm2	INDECO	8.00	3	m.	24.00
9	Cables de control de 1x2.5 mm2	INDECO	1.00	10	Und.	10.00
SERVICIOS						
10	Mecanizado de piezas en torno	Talleres varios	200.00	1	Glob.	200.00
11	Trabajo de Fresa	Talleres varios	140.00	1	Glob.	140.00
12	Soldadura especial en soporte de alternador	Talleres varios	20.00	1	Glob.	20.00
OTROS						
13	Transportes	Urbano	15.00	1	Glob.	15.00
14	Viáticos	Ciudad de Juliaca	25.00	1	Glob.	25.00
15	Adicional		12.00	1	Glob.	12.00
TOTAL DE GASTOS S/.						<b>3,196.00</b>

La implementación del sistema regenerativo de energía eléctrica queda a manera de propuesta, debido al costo adicional que significa, en el siguiente cuadro se muestra detalladamente el precio de cada equipo necesario.

### 7.3. CALCULO DEL VAN, TIR Y B/C.

PROYECTO DE PRODUCCIÓN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO						
Tasa de Actualización:		10%				
AÑO	INGRESOS	COSTOS	FLUJO DE EFECTIVO	TASA	INGRESOS ACTUALIZADO	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	1.000	3240	478.2
1	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.909	2945.454545	434.7272727
2	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.826	2677.68595	395.2066116
3	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.751	2434.259955	359.2787378
4	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.683	2212.963595	326.6170344
5	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.621	2011.785087	296.9245767
6	3240.00	478.2	S/. 2,761.80	0.564	1828.895533	269.9314334
TOTAL	22680	3347.4	S/. 8,285.40		17351.04467	2560.885666

INGRESOS				EGRESOS	
comparación combustible/energía eléctrica recorrido en 20km por día	1.23	9.00	7.77	cambio de baterías cada 7años	3250.00
				ahorro anual	464.00
precios por mes	36.9	270.00	233.10	cambio de cables cada 7 años	100
precios anuales	442.3	3240.00	2797.70	ahorro anual	38.66666667
Lubricantes anuales 3 veces	0	90.00	90		
TOTAL ANUAL			2887.70	TOTAL ANUAL	502.67

VAN	14790.23
TIR	35%
B/C	1.06



# CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.



## CONCLUSIONES.

- En el presente trabajo de investigación, se abordó acerca de la construcción de un prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas. Este puede llegar a una velocidad máxima de 65 km/h con una autonomía de recorrido de 62 km. Se cree que esta investigación pueda servir como base para futuras investigaciones sobre el mismo tema, y poder de esta manera aspirar a que se hagan mejoras en los diseños.
- Se hizo el planteamiento de la implementación del sistema regenerativo de energía eléctrica para aprovechar la energía cinética del prototipo vehicular eléctrica producida en su desplazamiento; todo mediante el uso de alternadores, partes mecánicas y un convertidor elevador DC – DC, que es capaz de elevar la tensión continua de 12 VDC a 60 VDC, con la finalidad de que pueda cargar al pack de baterías mientras este va funcionando. Este sistema regenerativo de energía eléctrica es capaz idealmente de incrementar la autonomía en un 40 %. Y su implementación bordea el costo de S/. 3196.00.
- El costo total ejecutado en solamente la construcción del prototipo vehicular eléctrico de tres ruedas, es de S/. 18725.30. Monto que es significativamente importante por ser un prototipo, pero que llena de muchos aprendizajes ganados, y que será un conocimiento valioso en el futuro.
- En el análisis económico se ha considerado el VAN, TIR y B/C para ver si el proyecto tiene alguna viabilidad económica en el futuro. Para dicho análisis se ha considerado un flujo de caja donde el valor neto actual en un año 0 fue de S/. 18725.28 dinero invertido o egreso directo del proyecto gastado en adquisición y construcción del prototipo vehicular eléctrico. Para el análisis se necesita datos de ingresos ya que en año 0 no se tiene, en los años subsiguientes cuando el vehículo entre en funcionamiento, se considera los beneficios basados en ahorros de la energía eléctrica, cambio de baterías y sistema de cableado comparado a un vehículo convencional donde hay egresos como combustible, aceites, lubricación. Por consiguiente en el VAN

se obtiene un monto de 14790.23, TIR 35%, y el B/C 1.06 valores que indican donde el proyecto es viable.

- Teniendo en cuenta la prueba realizada en la ruta Juliaca – Lampa, se concluye que si el prototipo vehicular eléctrico tendría implementado el sistema regenerativo, tendría una autonomía de 30 min, lo que representa 41.5 % más de autonomía de recorrido.

### **OBSERVACIONES.**

- El prototipo vehicular se realizó desde su estudio, diseño y construcción de manera satisfactoria así como consta en los previos documentos de pruebas eléctricas, chasis y velocidad. El kit de componentes se adquirió previo análisis y dimensionamiento según catálogo de fabricantes. el incidente que sucedió en la investigación fue con el controlador AC SINNEGLE que fallo por errores de fábrica, ya que se desconoce su diseño y fabricación, según características la corriente máxima de entrega es de 400 amp. Y según mediciones se obtuvo hasta un máximo de 126 amp. A una velocidad máxima de 60 km/h.
- Debido al fallo del primer controlador, se procedió con la adquisición de uno nuevo, considerando su garantía de funcionamiento.
- El prototipo vehicular no consta con una investigación donde especifique sistemas de protección y control automático donde indiquen posibles fallas.

### **RECOMENDACIONES.**

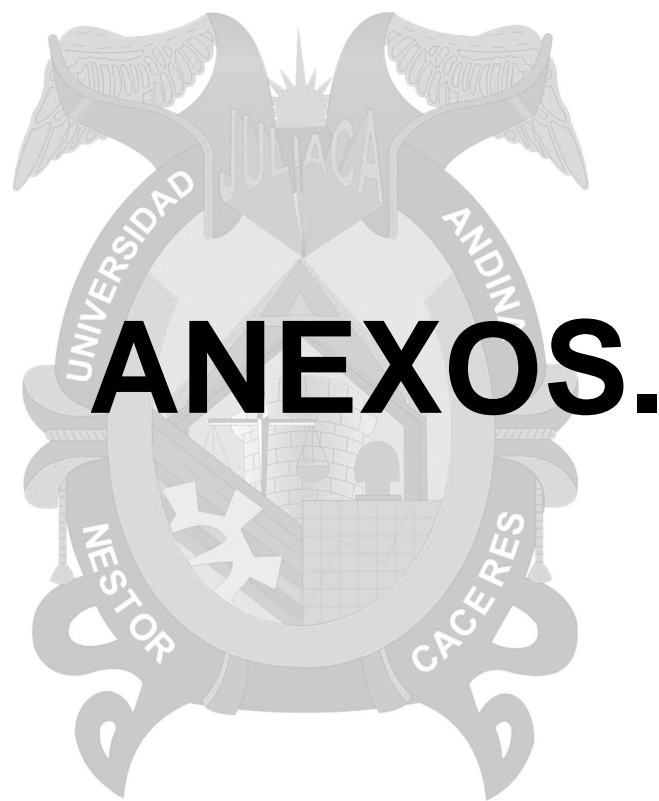
- Es necesario se pueda seguir investigando en estos temas relacionados a los vehículos eléctricos, ya que ellos serán los mayormente usados en el futuro.
- Al realizar el diseño de un vehículo eléctrico, es recomendable que se le haga una simulación aerodinámica en algún software para poder estar seguros que el dimensionamiento del motor es el correcto.
- Es importante tener conocimiento del consumo de corriente del motor a diferentes cargas, para poder seleccionar de forma adecuada la protección del mismo.

- Sería interesante poder realizar una conversión de un vehículo convencional de combustión interna a eléctrico, para poder crear un nuevo tipo de negocio para los que son interesados en el tema de vehículos eléctricos.
- La investigación realizada es una información detallada a temas propuestos que van acorde a los problemas planteados e hipótesis donde no se especifica algunos puntos que intervienen en el funcionamiento del prototipo vehicular. Uno de ellos es la selección de componentes por marca y calidad donde influye el costo, es por eso que se recomienda adquirir productos donde haya mayor desarrollo de ingeniería. Que garanticen un funcionamiento acorde a sus características.
- Los sistemas de protección de un vehículo eléctrico, es un tema indispensable ya que es un sistema muy variable donde dependemos de la fuerza con que el motor eléctrico accionara a una determinada carga es así donde se genera el incremento de corriente excesivo en el sistema. Se recomienda realizar un estudio de sistemas de protección al prototipo vehicular basados en limitadores de corriente y controles automáticos donde indiquen posibles fallas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Escuela de Organización Industrial-Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial. Vehículo Eléctrico y Movilidad del Futuro. In Lizarralde E, editor. Vehículo Eléctrico y Movilidad del Futuro. Madrid: Fundación EOI; 2012. p. 9.
2. Economía Sostenible de España. <http://es.slideshare.net/>. [Online].; 2011 [cited 2016 noviembre 22]. Available from: [http://es.slideshare.net/tecnologiajorge/coches-elctricos-7655457?from\\_action=save](http://es.slideshare.net/tecnologiajorge/coches-elctricos-7655457?from_action=save).
3. Zuñiga Larco VA. Propuesta de las Características Técnicas de un Vehículo Eléctrico para Uso Privado en Lima Metropolitana. 2014. Tesis.
4. Palafox Alvarado GI. Diseño y Construcción de un Vehículo Eléctrico con Variador de Velocidad mediante un convertidor CD-CD. 2009. Tesis.
5. Soto Sepulveda EA. Diseño y Construcción de una Tricicleta Solar Impulsada por Motor DC con Freno Regenerativo. 2007. Tesis.

6. Baeza M. <http://blogs.elpais.com/>. [Online].; 2011 [cited 2016 Noviembre 24]. Available from: <http://blogs.elpais.com/coche-electrico/2011/04/>.
7. Vehiculos Electricos Madrid; 2015.
8. Larrode Pellicer E. Automoviles Electricos. Primera ed. Zaragoza: Prensas Universitarias; 1997.
9. Tecnology HAlo. Overview of Power electronic drivers for electric vehicles: HAIT Journal of Science and Engineering B; 2005.
10. Institute ATT. An Introduction to Electric Vehicles Estados Unidos: ATTI; 2004.
11. VARGAS FABRE J. CONVERSION A AUTO ELECTRICO BASADO EN UN ACCIONAMIENTO TRIFASICO: DISEÑO, MODELACION E IMPLEMENTACION Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2012.
12. Larminie J, Lowry J. Electric Vehicle Technology Inglaterra: John Wiley & Sons ; 2003.
13. Torrejon Perez C. DISEÑO DE UN PACK DE BATERÍAS PARA Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID; 2010.
14. wordpress. [Online]. [cited 2017 07 05]. Available from: <https://feelmotor.files.wordpress.com/2011/11/densidades-baterias.png>.
15. Castañeda Zeman VA. "LÜFKE I": AUTO RECICLADO CON TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA LA Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE; 2005.
16. autolibreelectrico. [Online].; 2012 [cited 2016 11 20]. Available from: <http://www.autolibreelectrico.com/autoContenido/uploads/2012/06/ESTUDIO-TECNICO-DEL-FRENO-REGENERATIVO-EN-V.E.pdf>.
17. PALMA BEHNKE R. Panel de Control del Auto Eléctrico Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2003.
18. VOLVO. Curso Transmision Puente Trasero. 2012..
19. CHILWEE. DATA SHEED OF BATTERY Zhejian: Chaowei Power.; 2014.



# ANEXOS.



## A1. PROTOCOLO DE PRUEBAS.

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO  
SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICAPROTOCOLO DE PRUEBAS MEDICIÓN DE TENSIÓN

FECHA : 17/03/2017 HORA : 10.00am  
DEPARTAMENTO : PUNO PROVINCIA : SAN ROMAN  
DISTRITO : JULIACA DIRECCIÓN : AV. HORACIO ZEBALLOS  
GAMEZ

Equipo de Medición Tipo : PINZA AMPERIMÉTRICA Y MULTÍMETRO  
Marca : PRASEK PREMIUM  
Modelo : PR-202A  
Serie : H170378088  
Medición : VOLTAJE DE ENTRADA Y SALIDA

1.- BATERÍAS		
Pruebas	Valores	
CADA BAT.	12.00	VDC
CONJ. BAT.	60.00	VDC

2.- CONTROLADOR		
Pruebas	Valores	
ENTRADA	60.00	VDC
SALIDA	60.00	VAC

3.- CONVERTOR DC-DC		
Pruebas	Valores	
ENTRADA	60	VDC
SALIDA	12	VDC

1.- MOTOR ELÉC.		
Pruebas	Valores	
U-V	60.00	VAC
V-W	60.00	VAC
U-W	60.00	VAC

2.- CARGADOR DE BAT.		
Pruebas	Valores	
ENTRADA	220.00	VAC
SALIDA	60.00	VDC

## Observaciones:

La medida de voltaje se realizó cuando el vehículo estuvo en perfectas condiciones.

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO DE TRES RUEDAS OPTIMIZANDO  
SU AUTONOMÍA DE RECORRIDO MEDIANTE UN SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA****PROTOCOLO DE PRUEBAS MEDICIÓN CONSUMO DE CORRIENTE**

FECHA : 17/03/2017 HORA : 11.00am  
DEPARTAMENTO : PUNO PROVINCIA : LAMPA  
DISTRITO : LAMPA DIRECCIÓN : CARRETERA CENTRAL

Equipo de Medición Tipo : PINZA AMPERIMÉTRICA Y MULTÍMETRO  
Marca : PRASEK PREMIUM  
Modelo : PR-202A  
Serie : H170378088  
Medición : CORRIENTE RESPECTO ALA VELOCIDAD EN KM/H

1.- MOTOR ELÉC. (5km/h)		
Pruebas	Valores	
U	71.20	AMP
V	71.03	AMP
W	71.00	AMP

2.- CARGADOR DE BAT.		
Pruebas	Valores	
ENTRADA	9.00	AMP
SALIDA	30.00	AMP


1.- MOTOR ELÉC.(30km/h)		
Pruebas	Valores	
U	96.02	AMP
V	96.03	AMP
W	96.02	AMP

1.- MOTOR ELÉC.(60km/h)		
Pruebas	Valores	
U	126.02	AMP
V	126.03	AMP
W	126.05	AMP

**Observaciones:**

La medida de voltaje se realizó cuando el vehículo estuvo en perfectas condiciones.

## A2. CHECK LIST DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO.



### LISTA DE VERIFICACIÓN DEL CONTROLADOR

LUGAR: JULIACA

ACTIVIDAD: PRUEBAS ELÉCTRICAS

FECHA DE INSPECCION: 15/03/2017

☐ EQUIPO MÓVIL  
☐ PRE USO (INSPECCION).

☒ EQUIPO FIJO  
☒ USO (DURANTE LA ACTIVIDAD)

N°	COMPONENTES	TIENE		DEBE TENER	ESTADO		OBSERVACIONES
		SI	NO		B	M	
1	CARCAZA AISLANTE	X			X		
2	PERNOS DE SUJECIÓN ENTRADA	X			X		
3	PERNOS DE SUJECIÓN SALIDA	X			X		
4	DISIPADOR	X			X		
5	INDICADOR LUZ	X			X		
6							

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
SUPERVISOR 1

\_\_\_\_\_  
SUPERVISOR 2



### LISTA DE VERIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS

LUGAR: JULIACA

ACTIVIDAD: PRUEBAS ELÉCTRICAS

FECHA DE INSPECCIÓN: 15/03/2017

☐ EQUIPO MÓVIL  
☐ PRE USO (INSPECCION).

☒ EQUIPO FIJO  
☒ USO (DURANTE LA ACTIVIDAD)

N°	COMPONENTES	TIENE		DEBE TENER	ESTADO		OBSERVACIONES
		SI	NO		B	M	
1	CARCAZA DE PLASTICO	X			X		
2	PERNOS DE SUJECION +	X			X		
3	PERNOS DE SUJECION -	X			X		
4	SOPORTERIA DE BATERÍAS	X			X		
5	AISLAMIENTO DE TERMINALES	X			X		
6	CABLES DE CONEXIÓN	X			X		

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
SUPERVISOR 1

\_\_\_\_\_  
SUPERVISOR 2



### LISTA DE VERIFICACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO



LUGAR: JULIACA

ACTIVIDAD: PRUEBAS ELÉCTRICAS

FECHA DE INSPECCIÓN: 15/03/2017

☐ EQUIPO MÓVIL  
☐ PRE USO (INSPECCION).

☒ EQUIPO FIJO  
☒ USO (DURANTE LA ACTIVIDAD)

N°	COMPONENTES	TIENE		DEBE TENER	ESTADO		OBSERVACIONES
		SI	NO		B	M	
1	CARCAZA DE ALUMINIO	X			X		
2	PERNOS DE SUJECION ENTRADAS U	X			X		
3	PERNOS DE SUJECION ENTRADAS V	X			X		
4	PERNOS DE SUJECION ENTRADAS W	X			X		
5	PERNOS DE SUJECION HACIA LA ESTRUCTURA	X			X		
6	CONEXIÓN SENSOR DE TEMPERATURA	X			X		
7	CONEXIÓN SENSOR DE MOVIMIENTO	X			X		
8	EJE DEL MOTOR	X			X		

OBSERVACIONES :

SUPERVISOR 1

SUPERVISOR 2

### LISTA DE VERIFICACIÓN DE LAS LLANTAS (NEUMÁTICOS)



LUGAR: JULIACA

ACTIVIDAD: PRUEBAS ELÉCTRICAS

FECHA DE INSPECCIÓN: 15/03/2017

☐ EQUIPO MÓVIL  
☐ PRE USO (INSPECCION).

☒ EQUIPO FIJO  
☒ USO (DURANTE LA ACTIVIDAD)

N°	COMPONENTES	TIENE		DEBE TENER	ESTADO		OBSERVACIONES
		SI	NO		B	M	
1	LLANTAS	X			X		
2	AROS	X			X		
3	FRENOS	X			X		
4	PRESIÓN DE TUERCAS	X			X		
5	PRESIÓN DE AIRE	X			X		
6	ENGRASE DE PERNOS	X			X		


OBSERVACIONES :

SUPERVISOR 1

SUPERVISOR 2



### A3. PLAN DE MANTENIMIENTO.

FICHA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLAN 0 PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO					Revisión 1			
					Vigente desde:	Página 1 de 1		
Elaborado por:			Revisado por:		Aprobado por:			
- BACH. ARRATIA VALDEZ, YELHSIN HENRY A. - BACH. MAMANI APAZA, LEONEL			- BACH. ARRATIA VALDEZ, YELHSIN HENRY - BACH. MAMANI APAZA, LEONEL					
VEHICULO ELÉCTRICO		FIRMA DEL EJECUTOR						
CÓDIGO	VEA							
ÁREA RESPONSABLE	MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO	FECHA PROGRAMADA						
ÍTEM	ACTIVIDAD	EQUIPO	CÓDIGO	VARIABLE DE REFERENCIA	TIEMPOS			
					DÍAS	SEMANAS	MESES	AÑOS
1	Insp. Func.	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK	1			
2	Verif. Visual exterior de las conexiones, cargador, etc.	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK	1			
3	Sujecion pernos de terminales y soportes de estructura	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK			2	
4	Verif. Partículas de suciedad en terminales y partes ext.	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK		1		
5	Verif. Sulfatación en terminales	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK			2	
6	Prueba de descarga y voltaje	Baterías	EVF Serie VRLA Gel	OK			2	
7	Insp. Funcionamiento	Cargador de Bat.		OK	1			
8	Verif. visual exterior de los enchufes entrada y salida	Cargador de Bat.		OK	1			
9	Prueba de voltaje salida	Cargador de Bat.		60vdc			2	
10	Insp. Funcionamiento	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK	1			
11	Verif. Conexiones y devanados	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK		1		
12	Verif. Señales de humedad grasa o aceite en el devanado	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
13	Limpieza exterior	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
14	Verif. Vibración y calentamientos anormales	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
15	Verif. Estado de rodamientos	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
16	Limpieza general (exterior, interior)	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
17	Probar resistencia de aislamiento	Motor eléctrico	GEV1144MA	OK			2	
18	Insp. Funcionamiento según parpadeo	Controlador	SINNEGLE	OK	1			
19	Prueba de voltaje entrada y salida	Controlador	SINNEGLE	60VDC/60AC		1		
20	Verificar presión de aire en frío	Neumáticos	SINNEGLE	30 libras		1		
21	Verificar ajuste de tuercas	Neumáticos	SINNEGLE	OK	1			
22	Verificar ajuste de frenos	Neumáticos	SINNEGLE	OK		1		
23	Verificar funcionamiento	Convertor DC DC	DLS-72-45 IOTA ENGINEERING	OK		1		
24	Verificar voltaje de salida 12VDC	Convertor DC DC	DLS-72-45 IOTA ENGINEERING	12VDC			2	
25	Verificar luces delanteras, traseras y direccionales	Sistema de Luces		OK	1			
26	verificar derrame de aceite	Corona		OK	1			
27	Verificar estado de aceite	Corona		OK			2	
28	Verificar ajuste de pernos	Corona		OK		1		
<b>OBSERVACIONES GENERALES</b>					<b>OBSERV. PARCIAL</b>			



#### A4. FOTOGRAFÍAS.

*Ilustración 42: Fotografía del momento en que adquirimos las ruedas*

*Fuente: Propia.*



*Ilustración 43: Fotografía de omentos en que realizamos el doblado del tubo ASTM A500*

*Fuente: Propia.*



*Ilustración 44: Fotografía del momento del armado de la corona. Fuente: Propia*



*Ilustración 45: Fotografía del chasis montado con dirección y corona. Fuente: Propia.*



Ilustración 46: Momento en que hacemos trabajo de soldadura en el chasis.  
Fuente: Propia



Ilustración 47: Momento en que realizamos la instalación de las luces. Fuente: Propia



Ilustración 49: Vista posterior de la instalación de las luces.



Ilustración 48: Baterías ya instaladas en el prototipo.  
Fuente: Propia



*Ilustración 50: Vista del tablero de instrumentos. Fuente: Propia*



*Ilustración 51: Prototipo listo para hacer pruebas. Fuente: Propia*



*Ilustración 52: Prototipo vehicular eléctrico en la ciudad de Lampa - Puno - Perú.*



**A5. VIDEOS.**

Se adjunta un DVD, donde están los videos siguientes:

- Momento de las pruebas en la vía Juliaca Lampa.
- Primeros movimientos del prototipo vehicular eléctrico.
- Simulación aerodinámica del prototipo.

**A6. FICHAS TÉCNICAS.**

- Fichas técnicas del controlador.
- Ficha técnica de la batería.
- Ficha técnica del alternador propuesto.

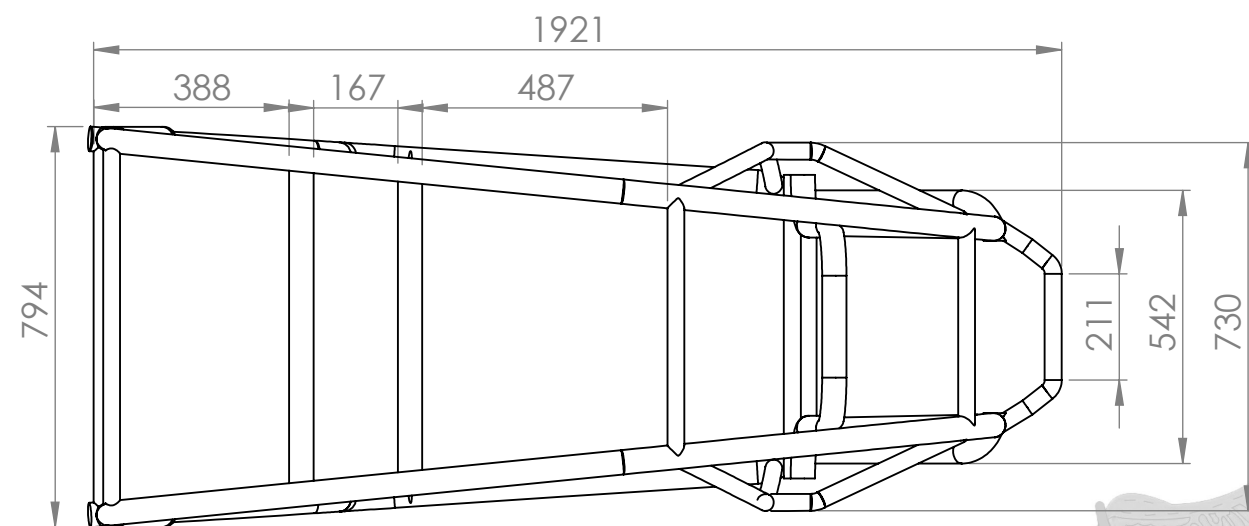
**A7. PLANOS.**

- Planos mecánicos de montaje.
- Planos eléctricos de instalación.

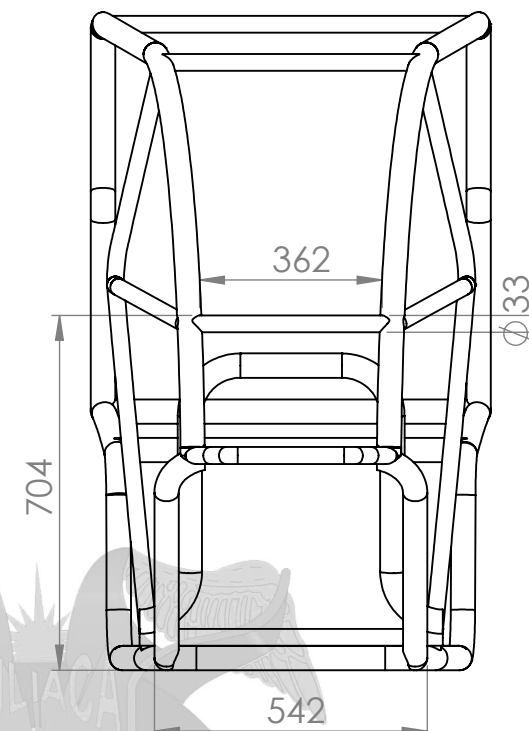




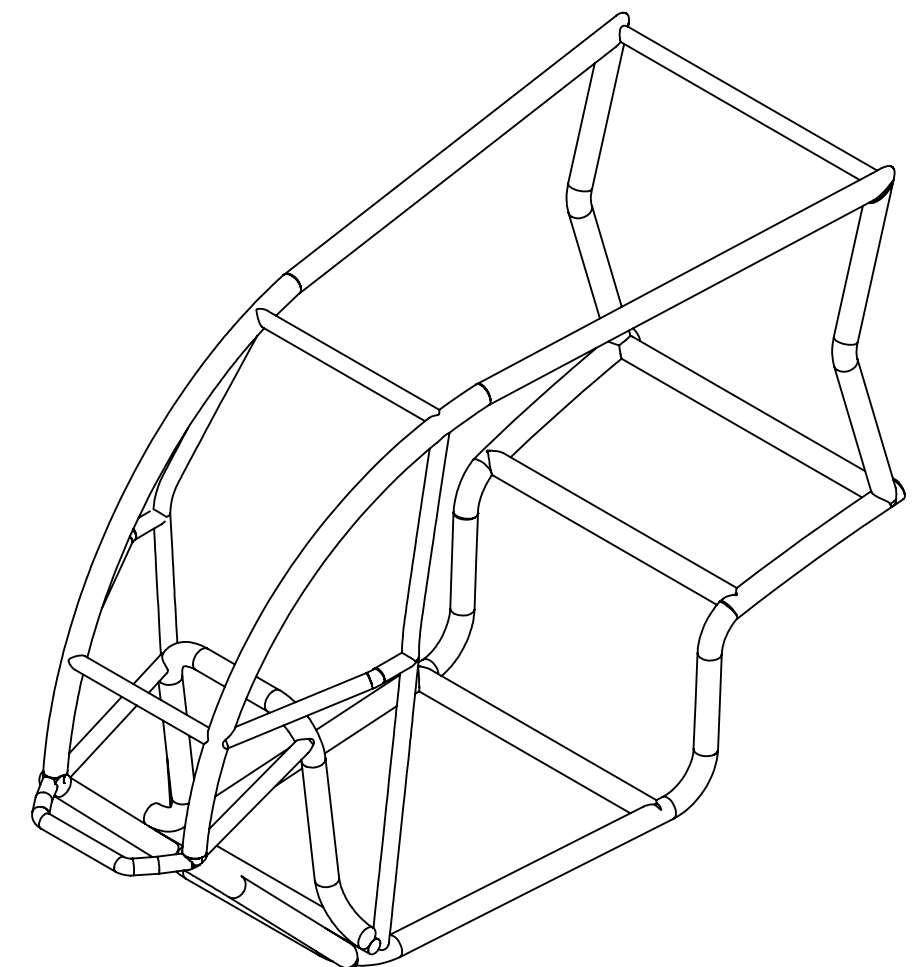
NOTA: La soldadura sera por arco electrico con electrodo E-6011



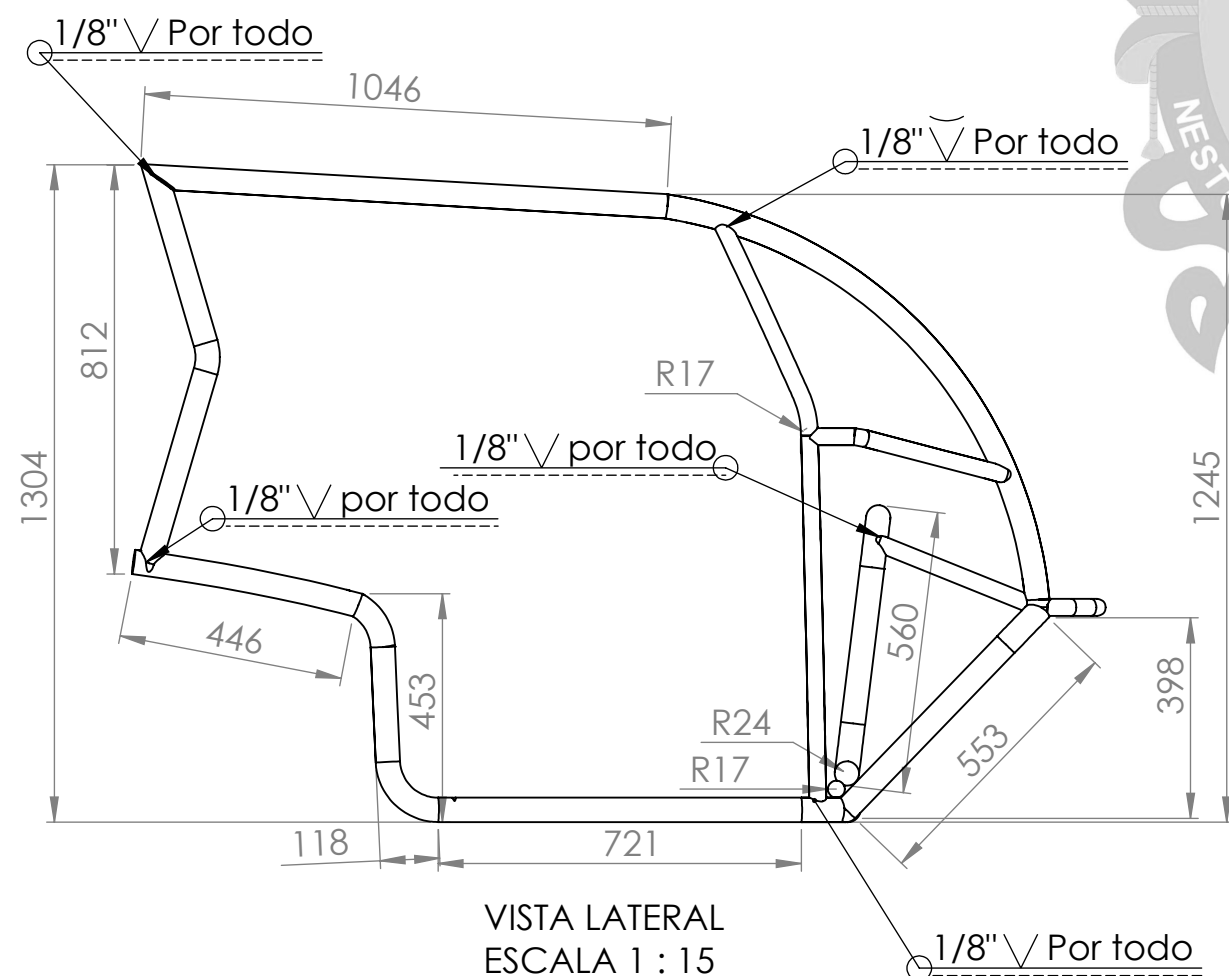
VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1 : 15



VISTA FRONTAL  
ESCALA 1 : 15



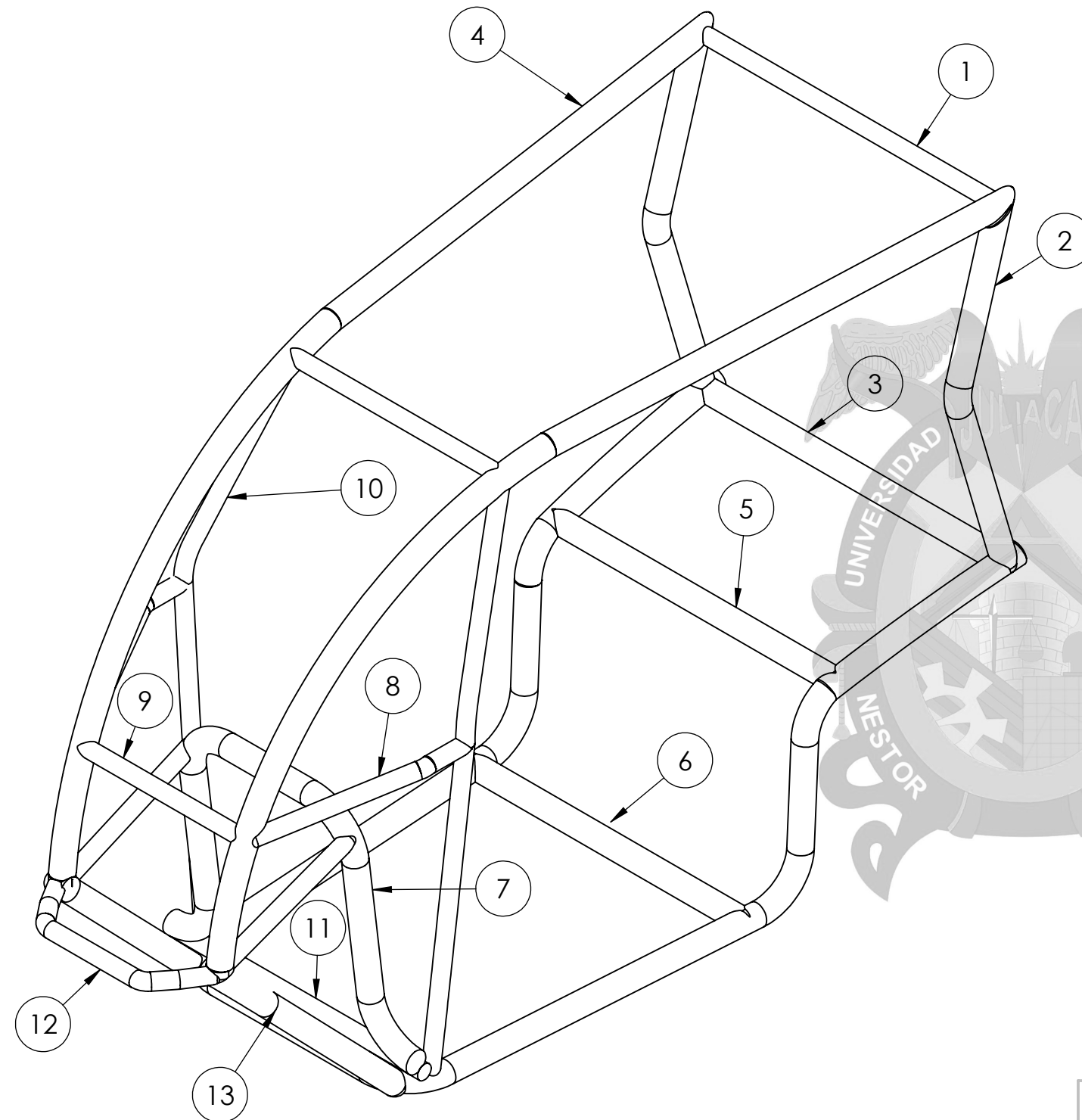
VISTA ISOMETRICO  
ESCALA 1 : 15



VISTA LATERAL  
ESCALA 1 : 15

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ		
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS		
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA		
					MECANICA ELECTRICA		
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>		
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017	MATERIAL: ACERO ASTM	DIBUJO:	ESTRUCTURA DEL CHASIS	A3
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y						
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y						
					ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 11	

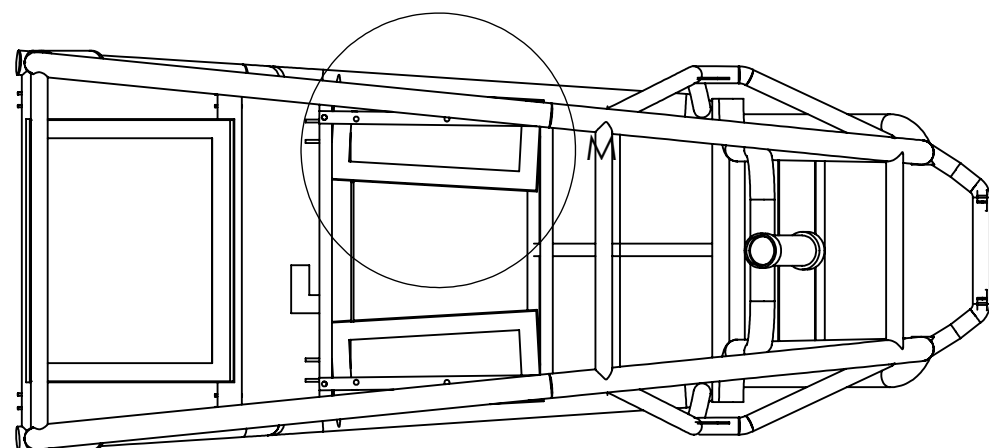
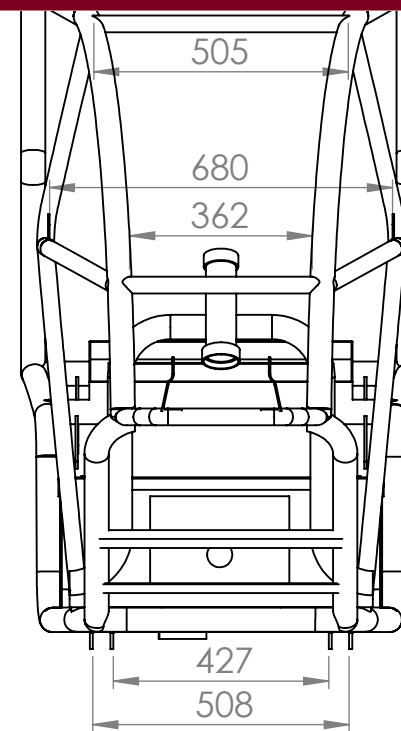
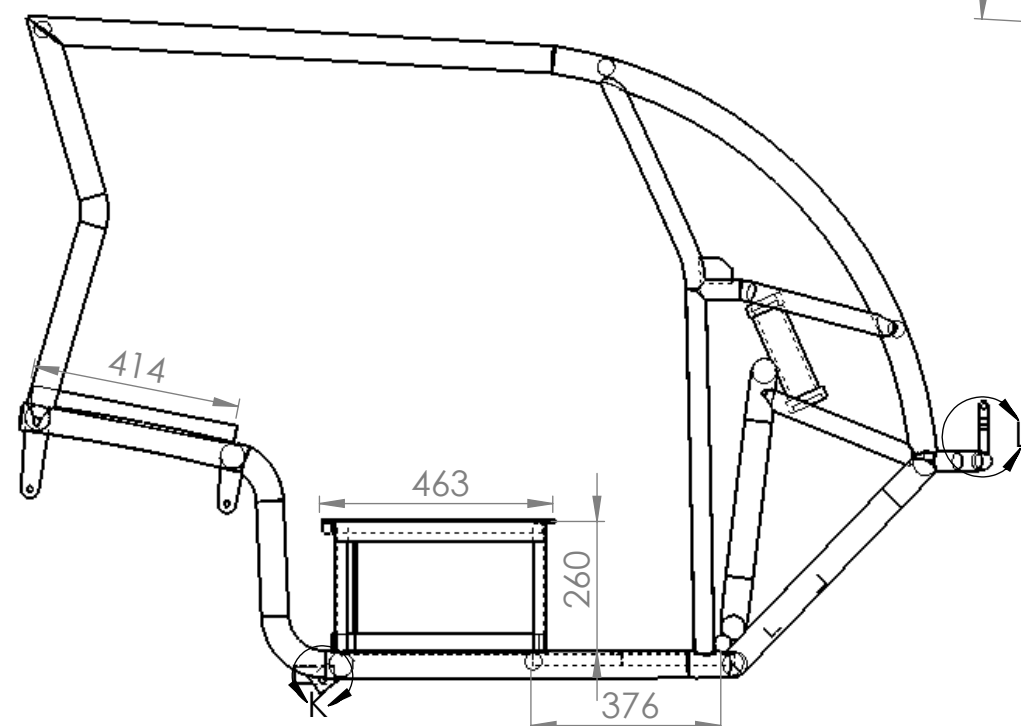
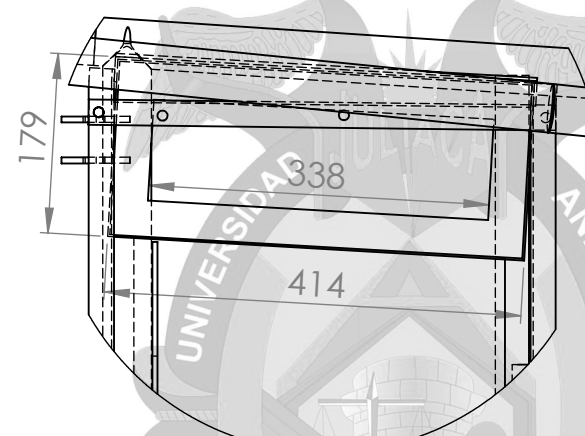
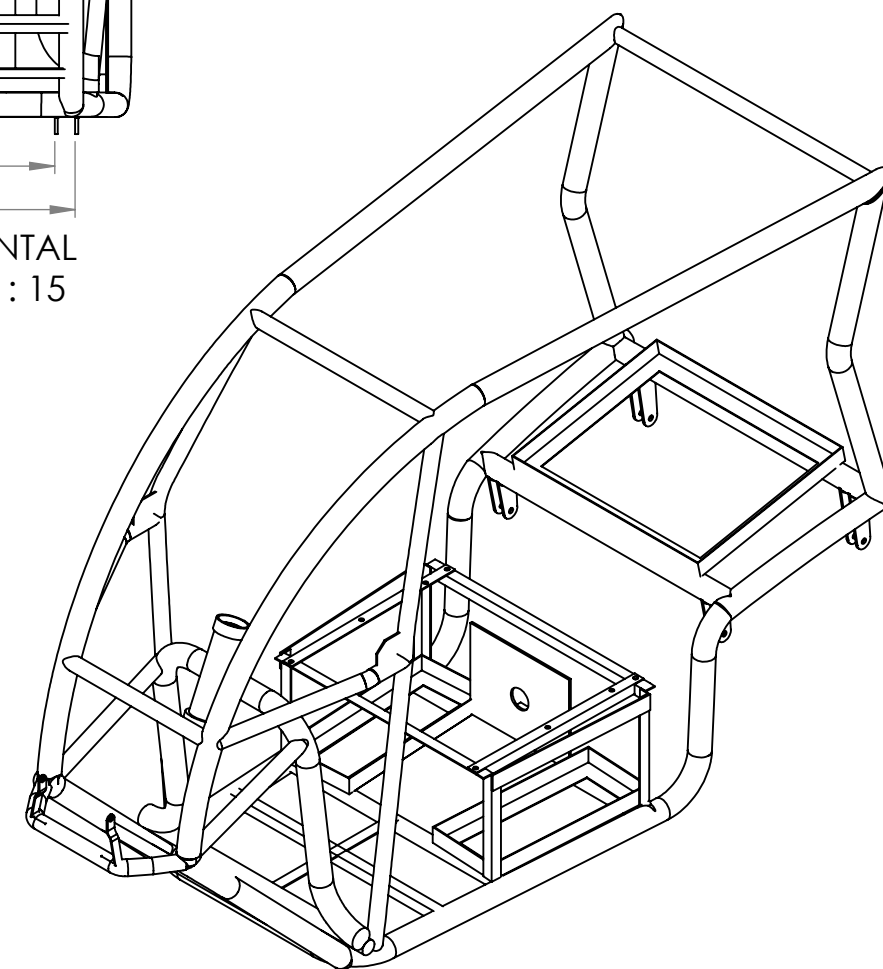
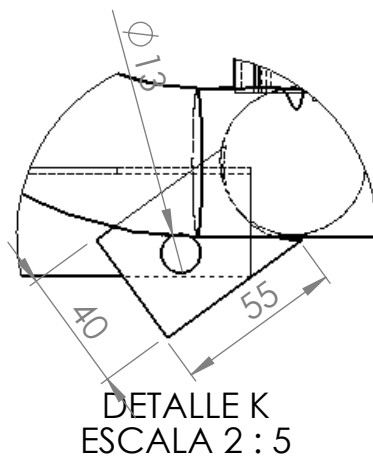
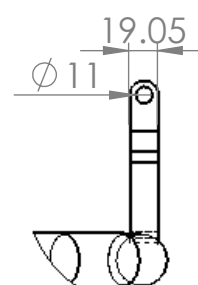




ESCALA 1 : 10

N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=745 mm, e=2 mm	1
2	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=796 mm, e=2 mm	2
3	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=745 mm., e=2 mm	1
4	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=2150 mm, e=2 mm	2
5	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=740 mm, e=2 mm	1
6	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=735 mm, e=2 mm.	1
7	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=1450 mm, e=2mm	1
8	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=500 mm, e=2 mm	2
9	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=400 mm. e=2 mm	1
10	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=1220 mm.; e=2 mm	2
11	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=600 mm., e=2 mm.	1
12	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1" y long. aprox=500 mm., e=2 mm.	1
13	Tubo circular ASTM A500 de $\phi$ 1 1/2" y long. aprox=1100 mm., e=2 mm.	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES VELASQUEZ FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>		
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y						
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y				DIBUJO: ELEMENTOS DE CHASIS		
					A3		
		MATERIAL: ACERO ASTM			ESCALA:1:1		
					HOJA 2 DE 11		

VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1 : 15VISTA FRONTAL  
ESCALA 1 : 15VISTA LATERAL  
ESCALA 1 : 15DETALLE M  
ESCALA 2 : 15VISTA ISOMETRICO  
ESCALA 1 : 15DETALLE K  
ESCALA 2 : 5DETALLE L  
ESCALA 1 : 5

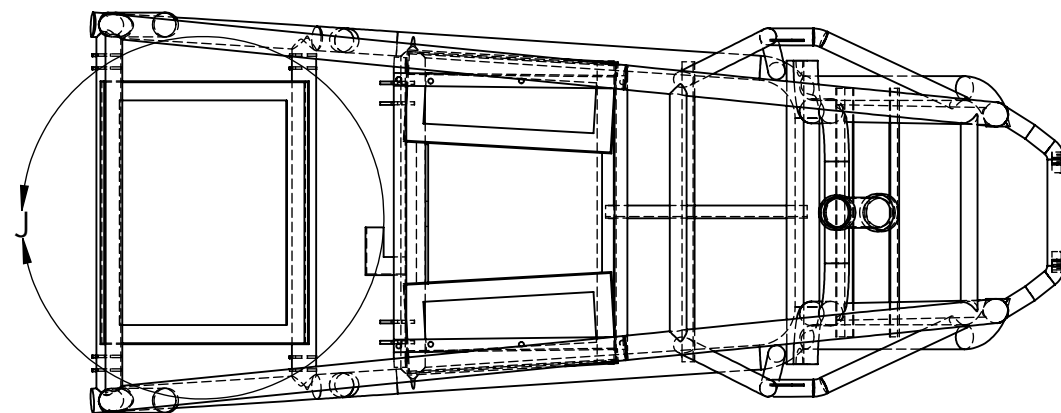
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y		

MATERIAL:  
ACERO ASTMUNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES VELASQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
MECANICA ELECTRICATÍTULO:  
**PROTOTIPO VEHICULAR  
ELECTRICO**DIBUJO:  
SOPORTES EN EL  
CHASIS

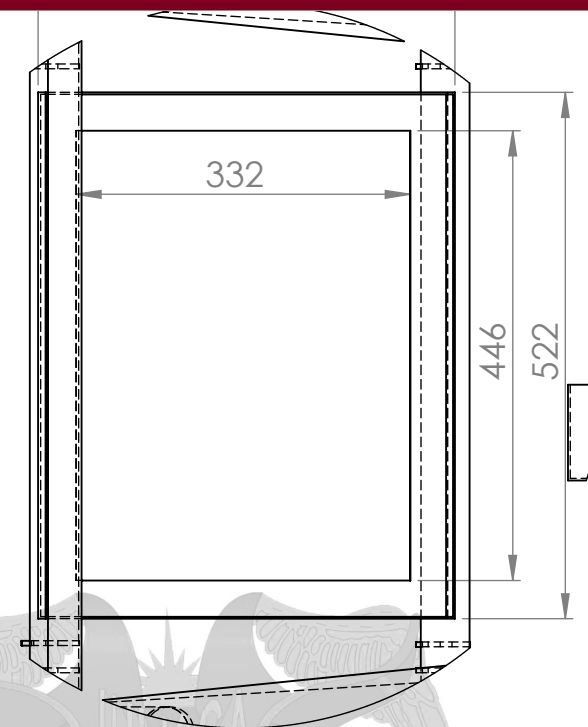
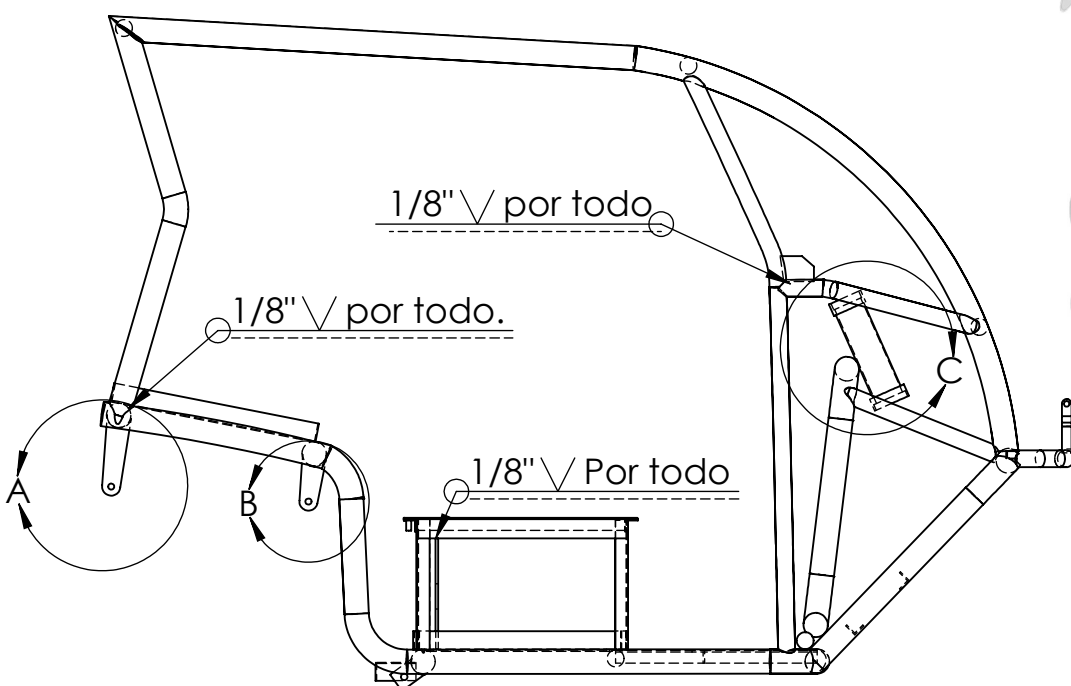
A3

ESCALA:1:1

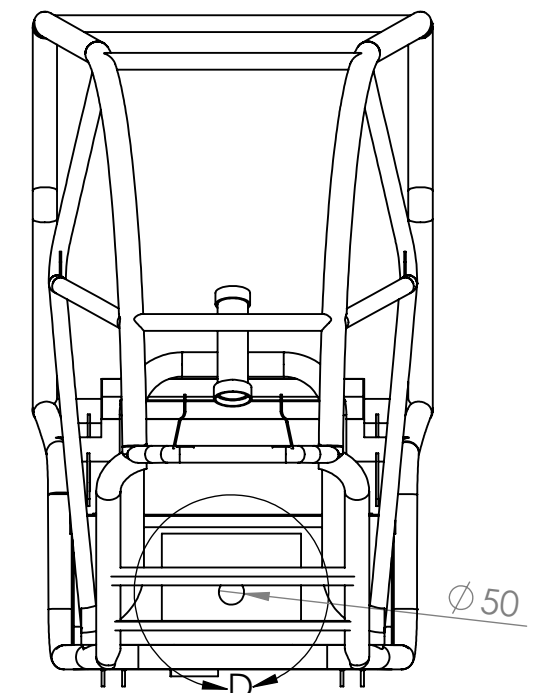
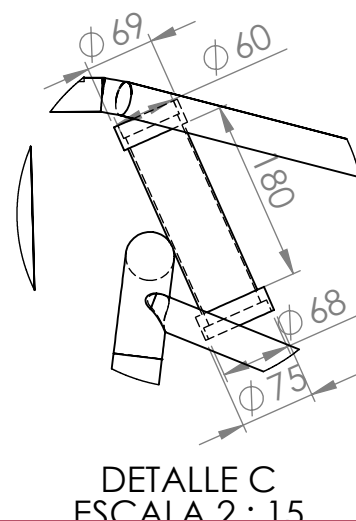
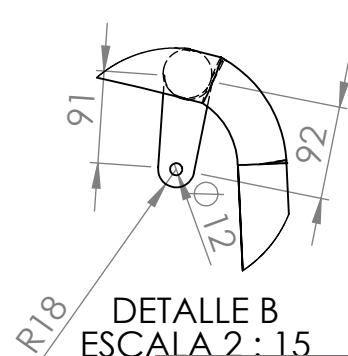
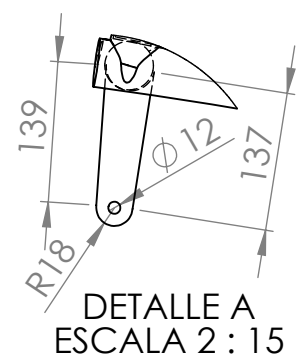
HOJA 3 DE 11



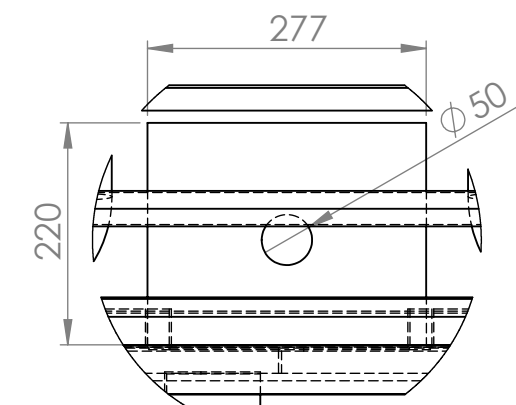
ESCALA 1 : 15

DETALLE J  
ESCALA 2 : 15

ESCALA 1 : 15



ESCALA 1 : 15

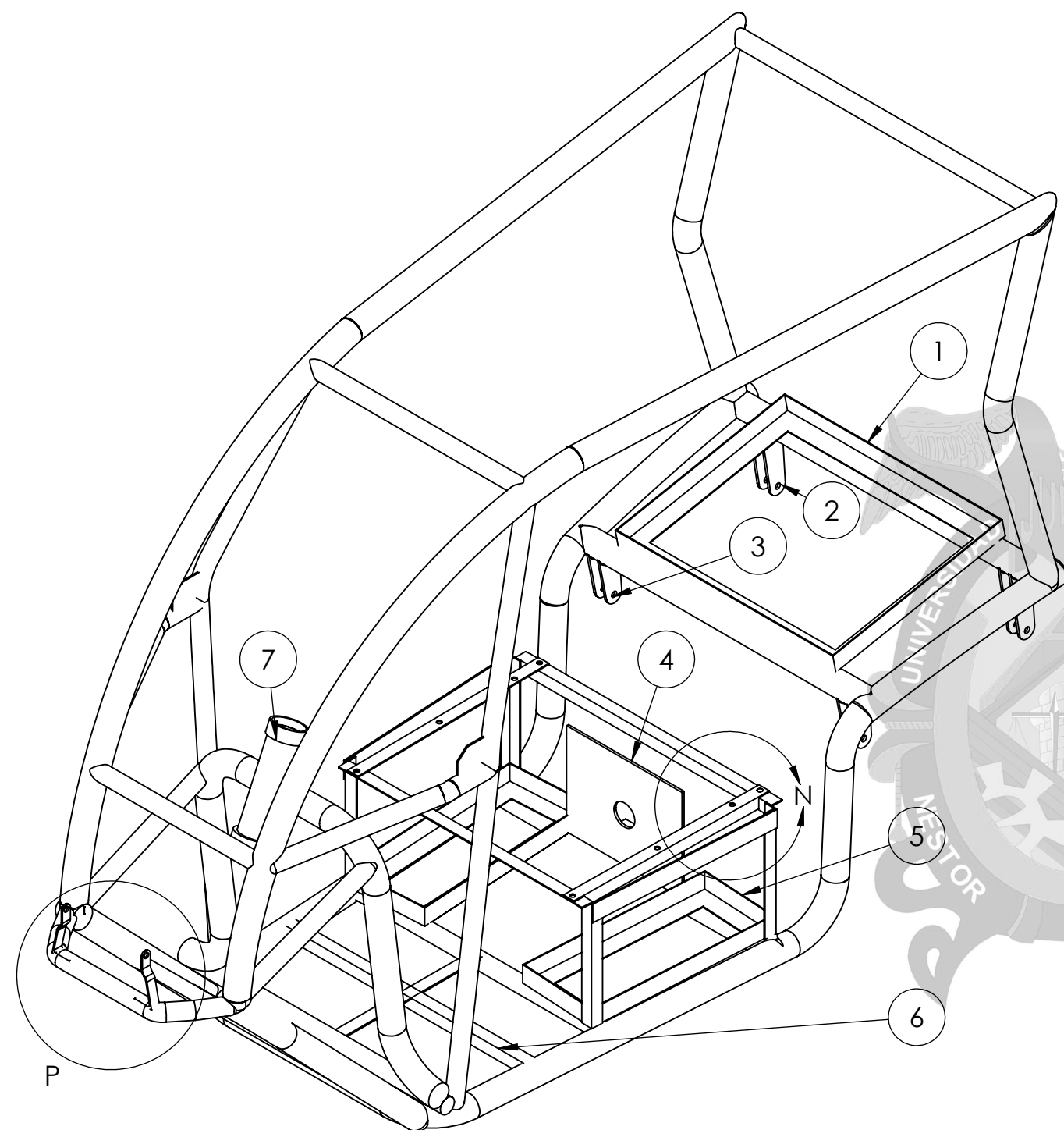
DETALLE D  
ESCALA 2 : 15

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS	
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA	
					MECANICA ELECTRICA	
					TÍTULO:	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017	PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO		
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y					
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y			MATERIAL: ACERO ASTM	DIBUJO: DETALLES DE SOPORTES EN EL CHASIS	A3
					ESCALA:1:1	HOJA 4 DE 11

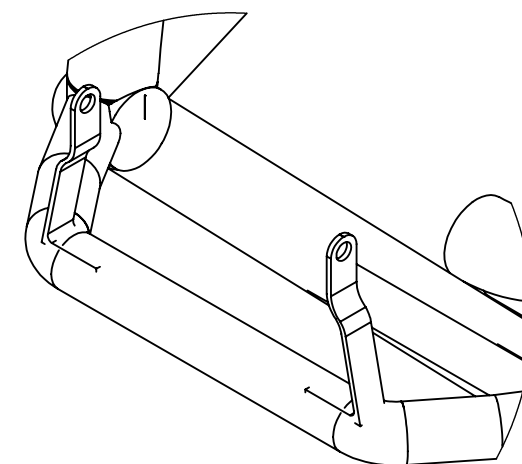
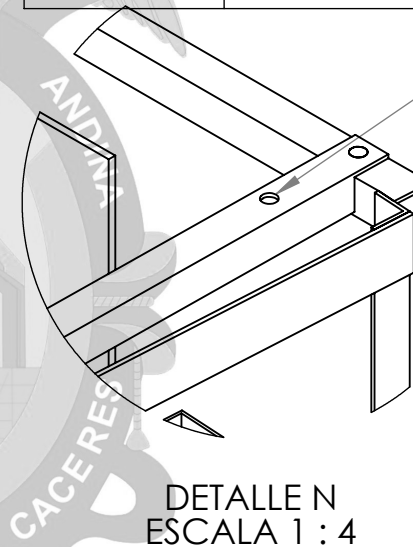




N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte de batería trasera, hecha con perfil angular 25x25mm y e=2mm	1
2	Orejas de acero para articulación de barra estabilizadora, con $\phi 1/2"$	4
3	Soporte para anclaje de amortiguador (Ver det. B)	4
4	Plancha de acero para soportar al motor, e=5 mm	1
5	Soporte de batería central, hecha con perfil angular 25x25mm y e=2 mm.	2
6	Perfil angular para soporte, de 25x25 mm y e=2mm.	1
7	Tubo de soporte para el eje del timon.	1

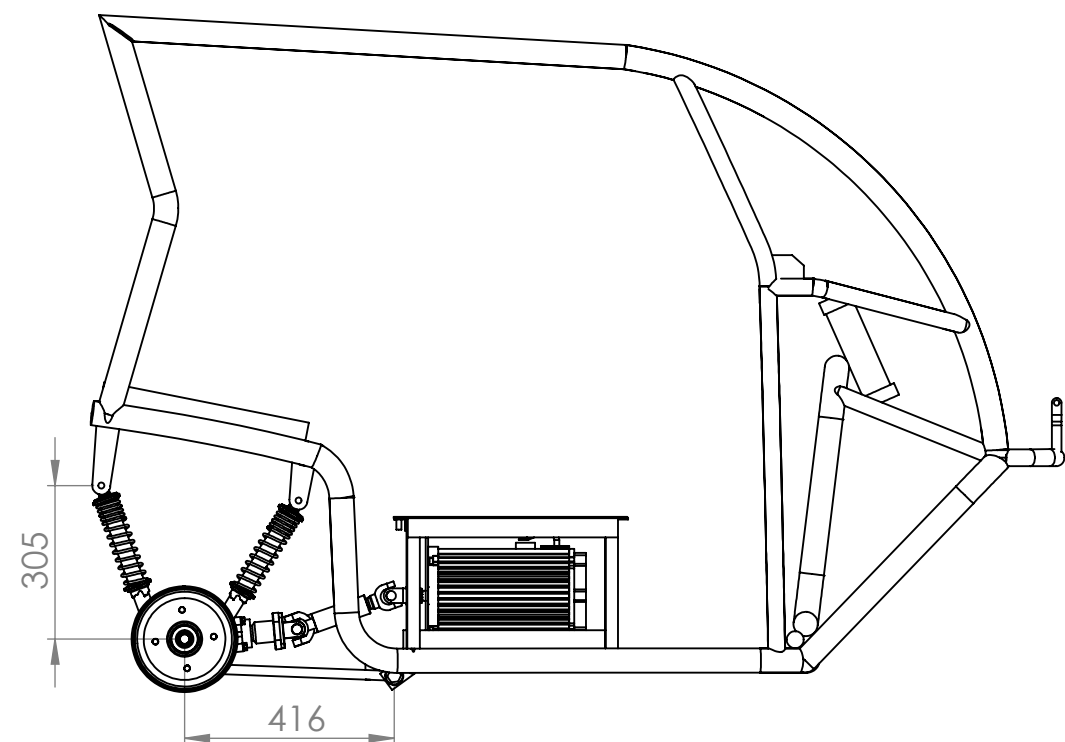
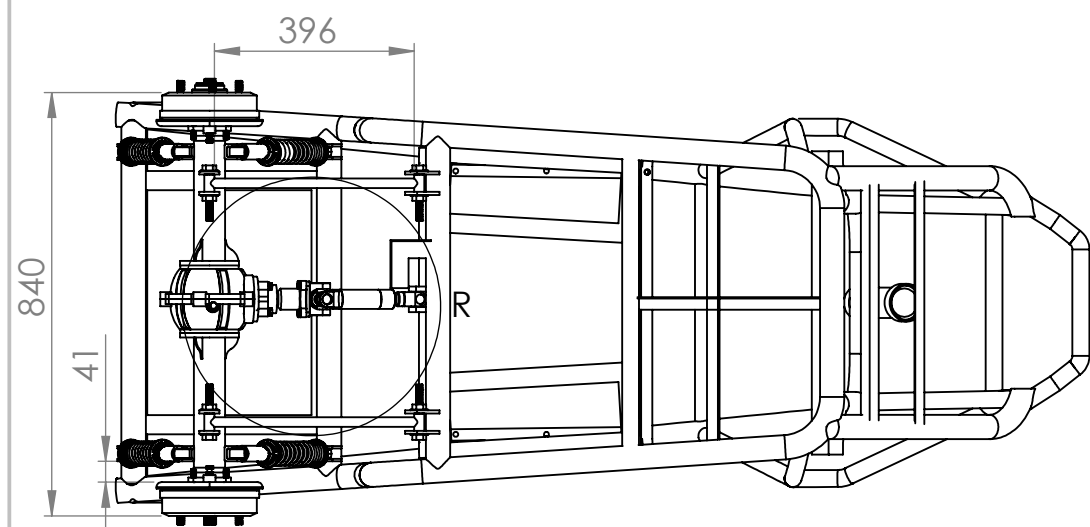
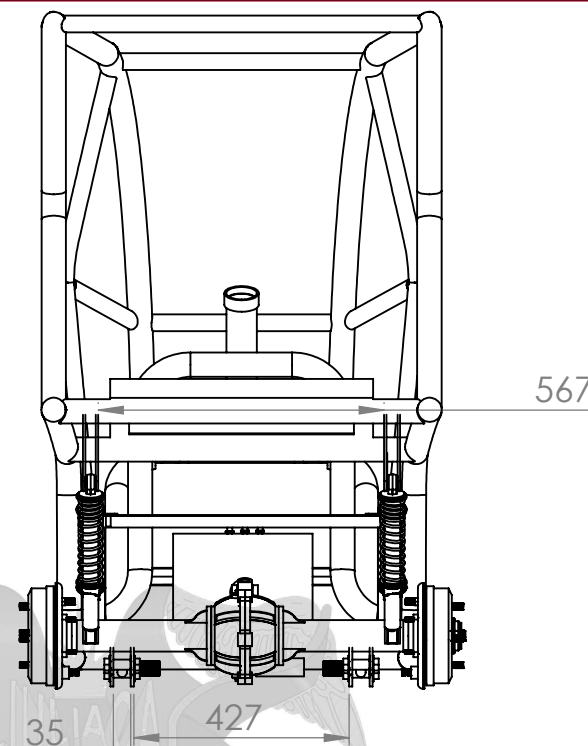
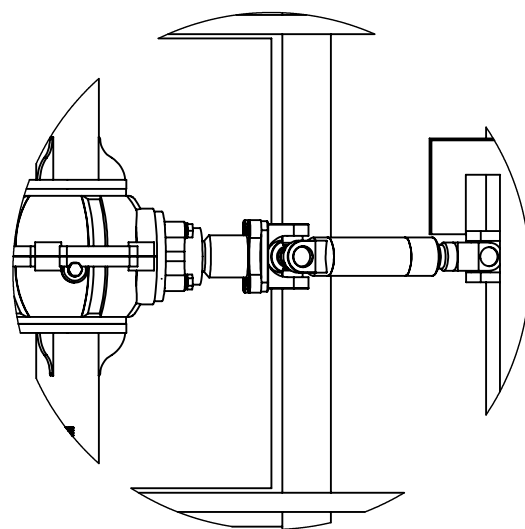


ESCALA 1 : 10



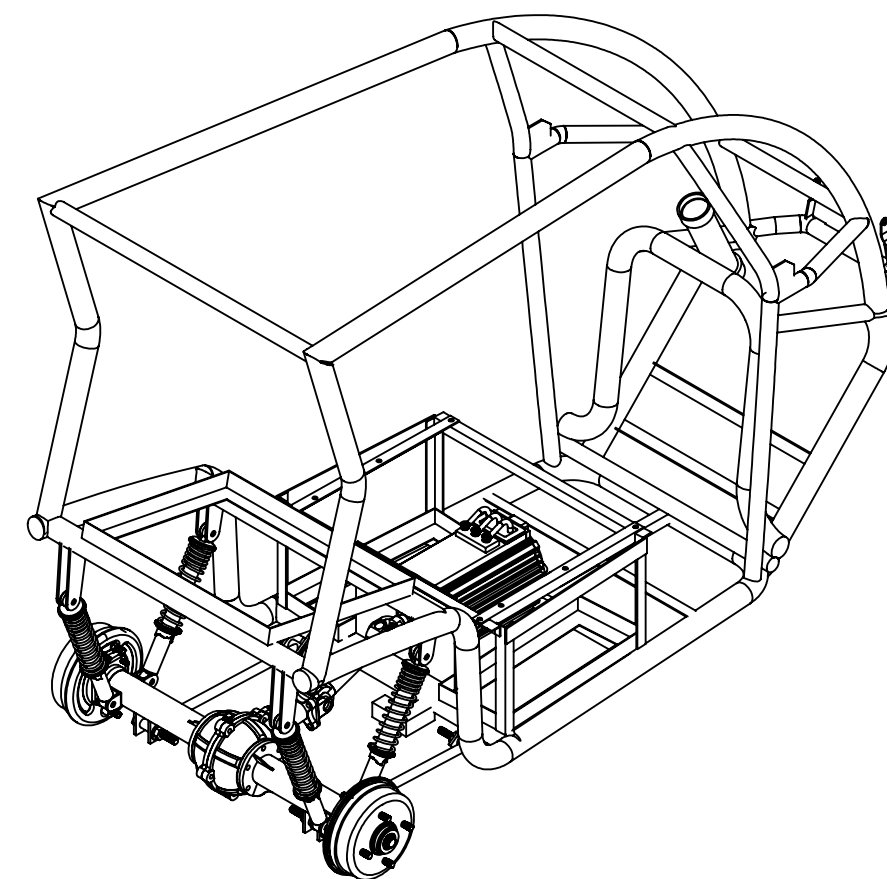
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS	
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA	MATERIAL: ACERO ASTM	DIBUJO: IDENTIFICACION SOPORTES EN EL CHASIS	A3
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y					
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y					
					ESCALA:1:1	HOJA 5 DE 11



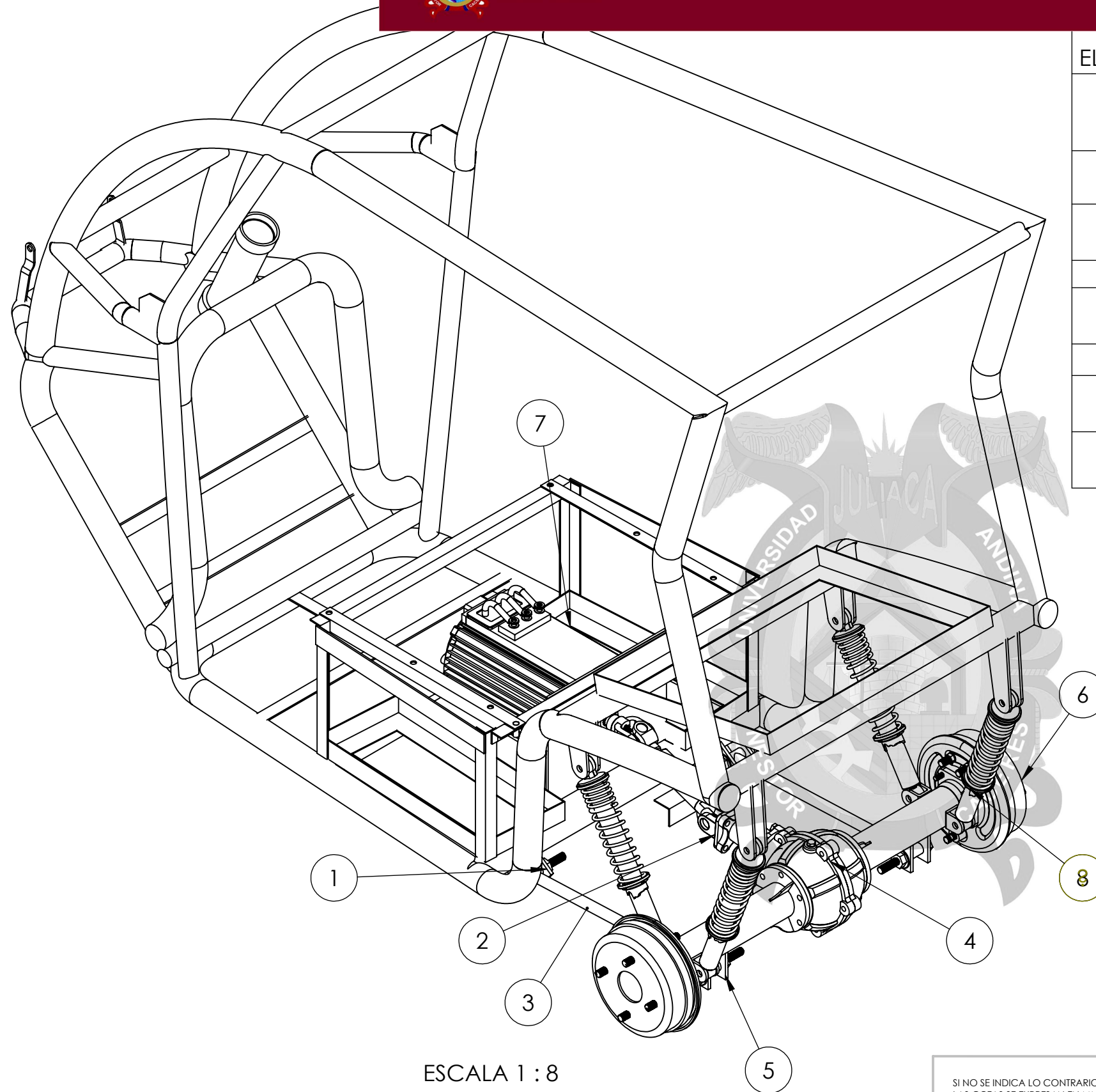
VISTA LATERAL  
ESCALA 1 : 15VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1 : 15VISTA POSTERIOR  
ESCALA 1 : 15DETALLE R  
ESCALA 2 : 15

567

NOTA: La ubicacion del motor con la transmision sera acondicionada segun las medidas del chasis.

VISTA ISOMETRICO  
ESCALA 1 : 15

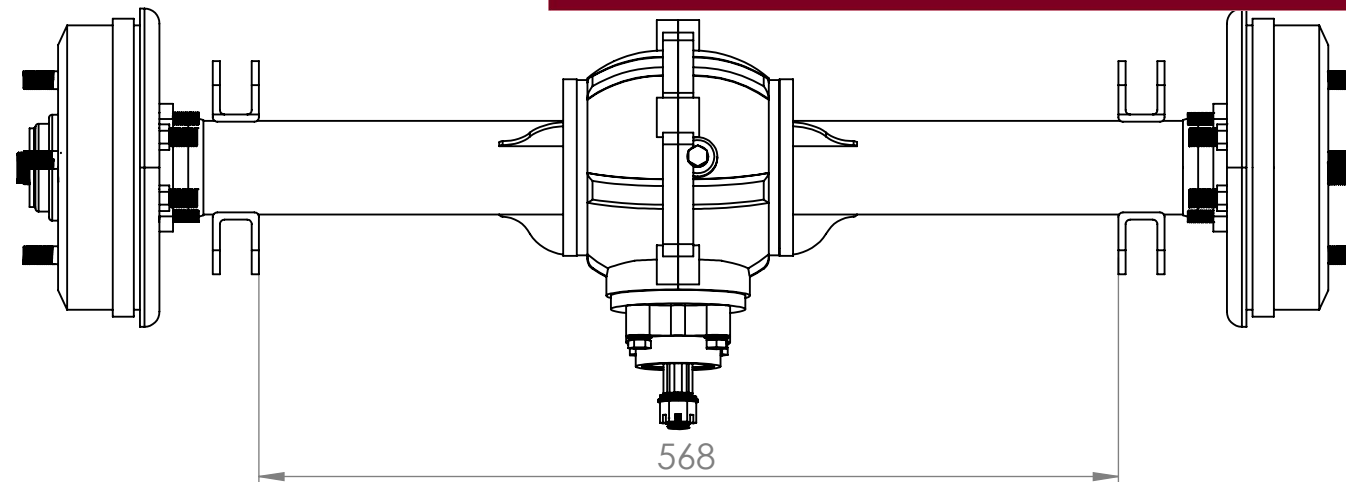
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES VELASQUEZ	
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS	
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>	
					DIBUJO: <b>INSTALACION DE MOTOR, TRANSMISION Y SUSPENSION</b>	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA	MATERIAL: VARIOS	ESCALA: INDICADA	A3
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017			
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y					
FABR.						



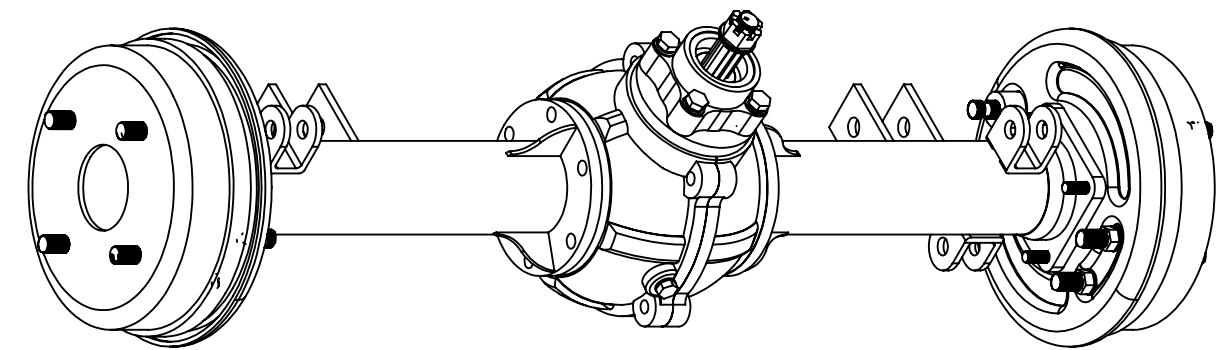
ESCALA 1 : 8

N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Orejas de acero para articulacion de barra estabilizadora, con $\phi 1/2"$	8
2	Cruceta para articulacion de eje diferencial y corona o arbol de transmision	2
3	Barra estabilizadora de acero ASTM A500 de $\phi 1/2"$	2
4	Corona o arbol de transmision	1
5	Orejas para articulacion de la suspension respecto al chasis con el arbol de transmision	4
6	Tambor para alojar zapatas del freno	2
7	Motor electrico de induccion de 5 kW, de carcasa de aluminio	1
8	Suspension tipo resorte	4

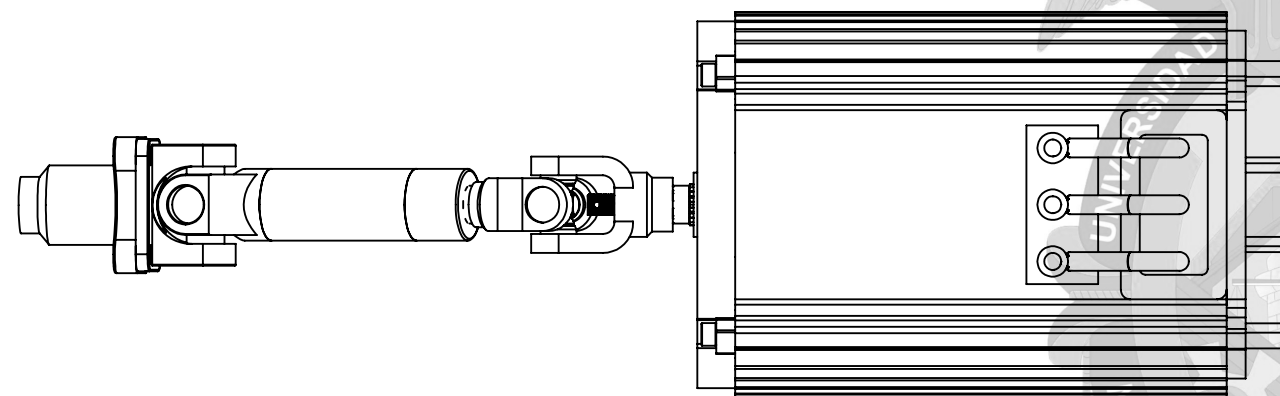
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ		
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS		
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA		
					MECANICA ELECTRICA		
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>		
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017	MATERIAL:  VARIOS	DIBUJO: IDENTIFICACION DE MOTOR, TRANSMISION Y SUSPENSION		A3
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y						
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y						
					ESCALA: INDICADA		HOJA 7 DE 11



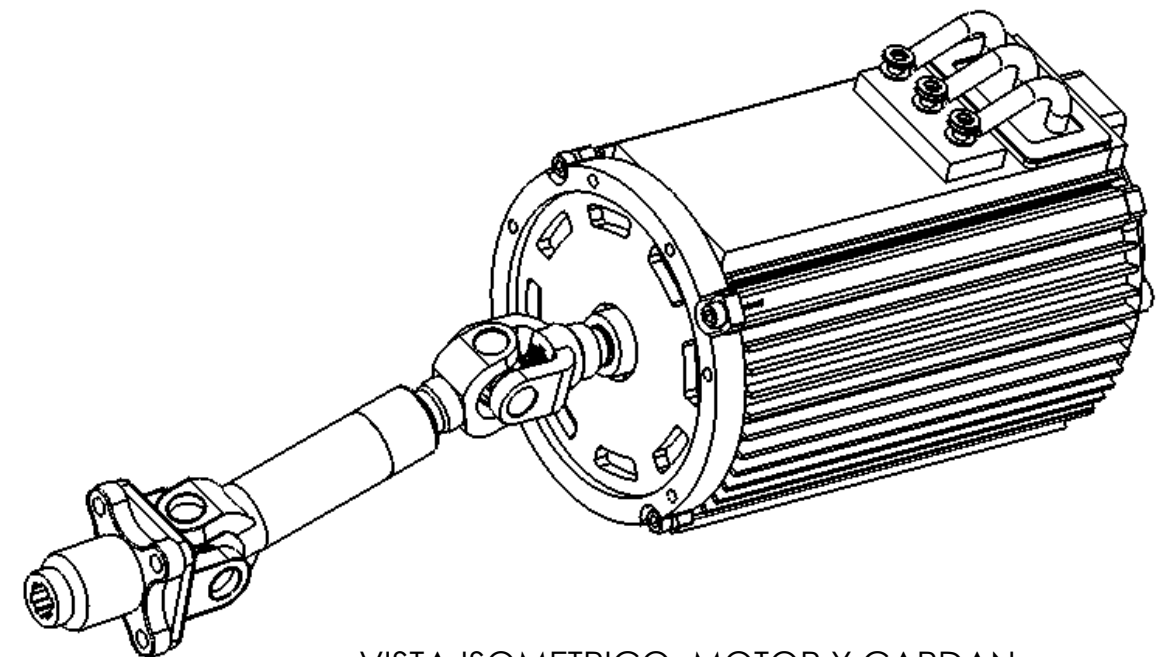
VISTA SUPERIOR: CORONA  
ESCALA 1 : 5



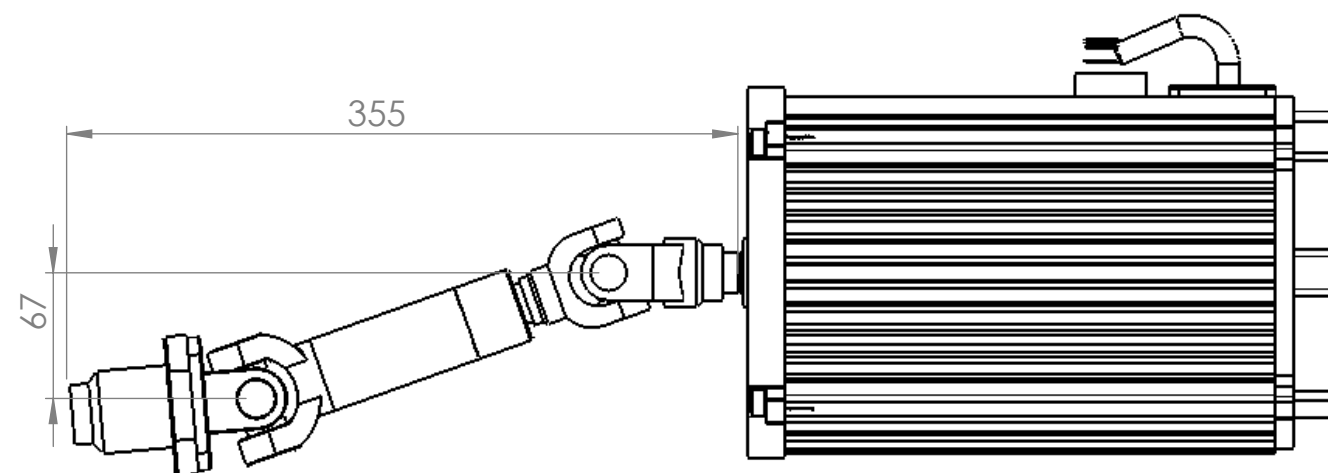
VISTA ISOMETRICO: CORONA  
ESCALA 1 : 5



VISTA SUPERIOR: MOTOR Y CARDAN  
ESCALA 1 : 4



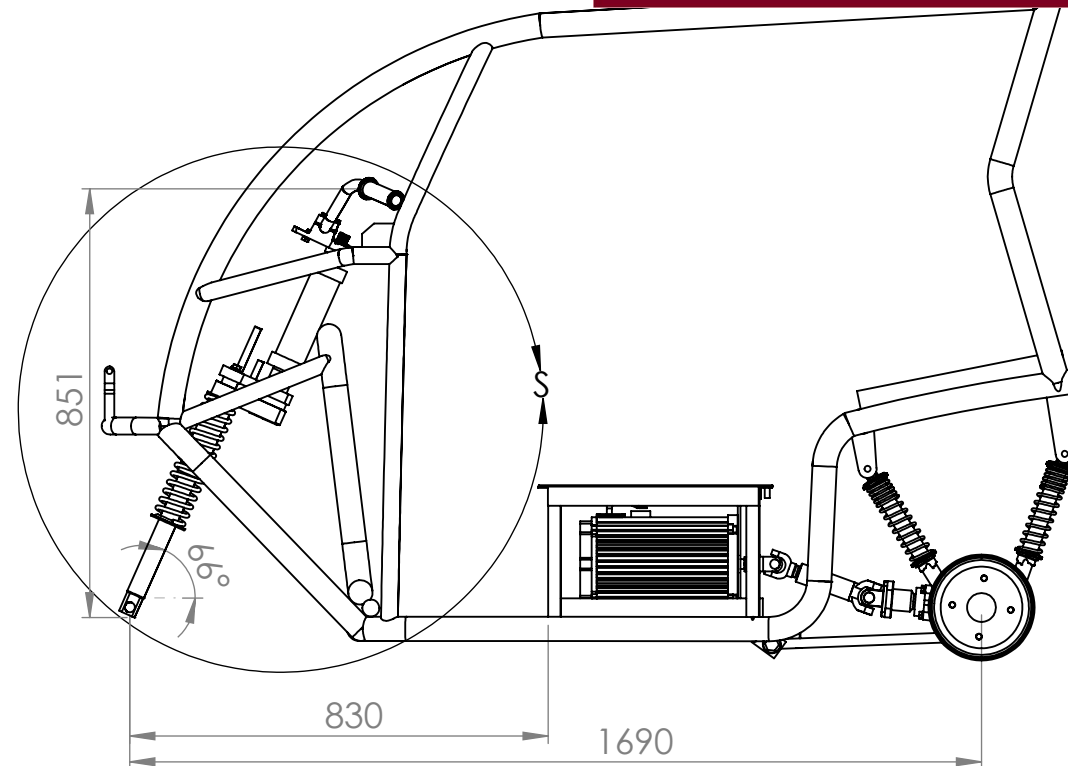
VISTA ISOMETRICO: MOTOR Y CARDAN  
ESCALA 1 : 4



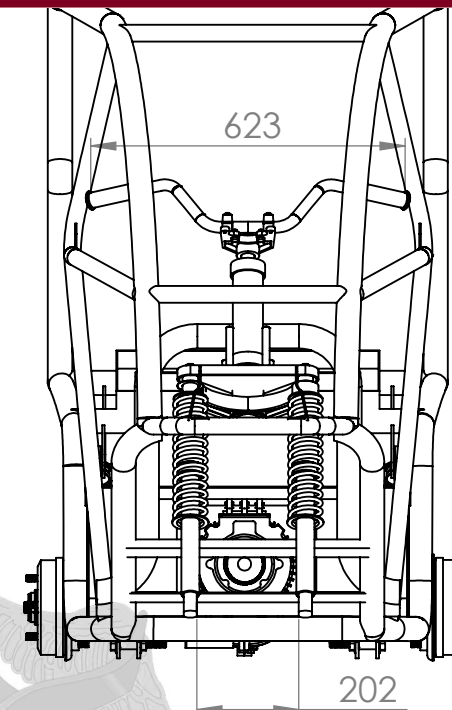
VISTA LATERAL: MOTOR Y CARDAN  
ESCALA 1 : 4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ		
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS		
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>		
					DIBUJO: <b>MOTOR, Y ARBOL DE TRANSMISION</b>		A3
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA	MATERIAL:  VARIOS	ESCALA: INDICADA		HOJA 8 DE 11
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y						
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y						
ELAB.							



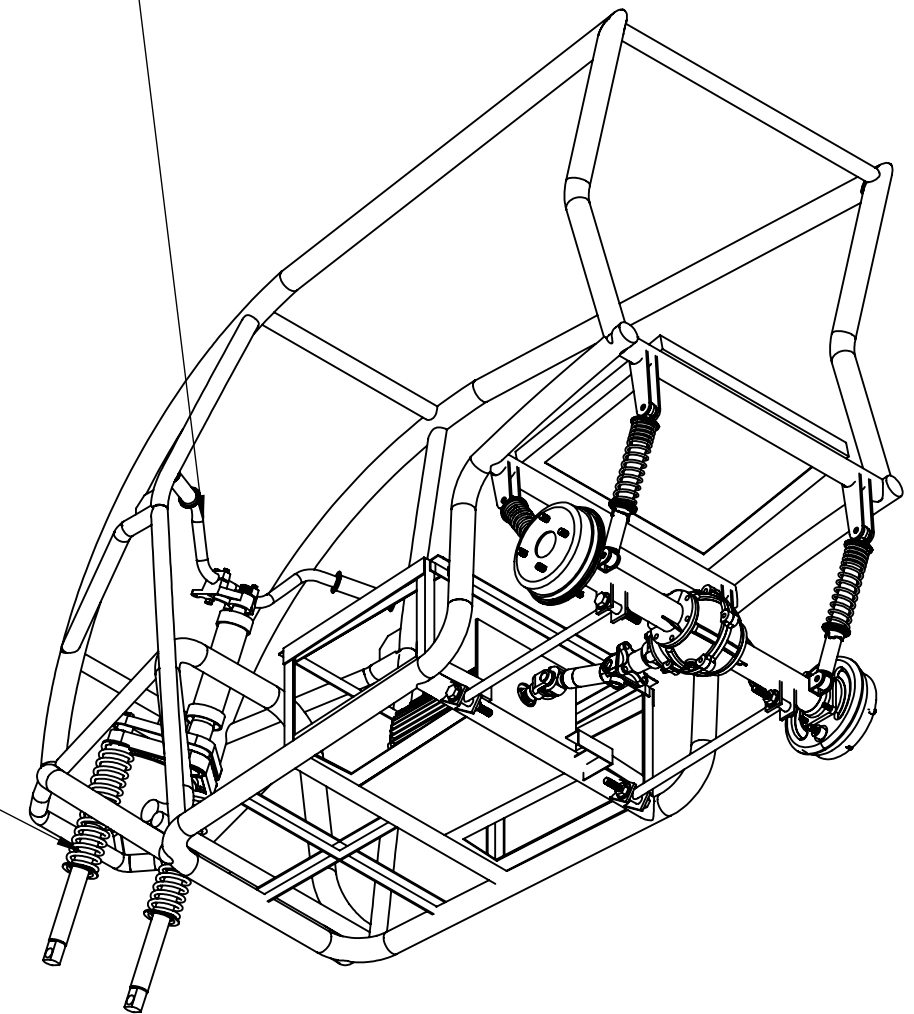


VISTA LATERAL  
ESCALA 1 : 15

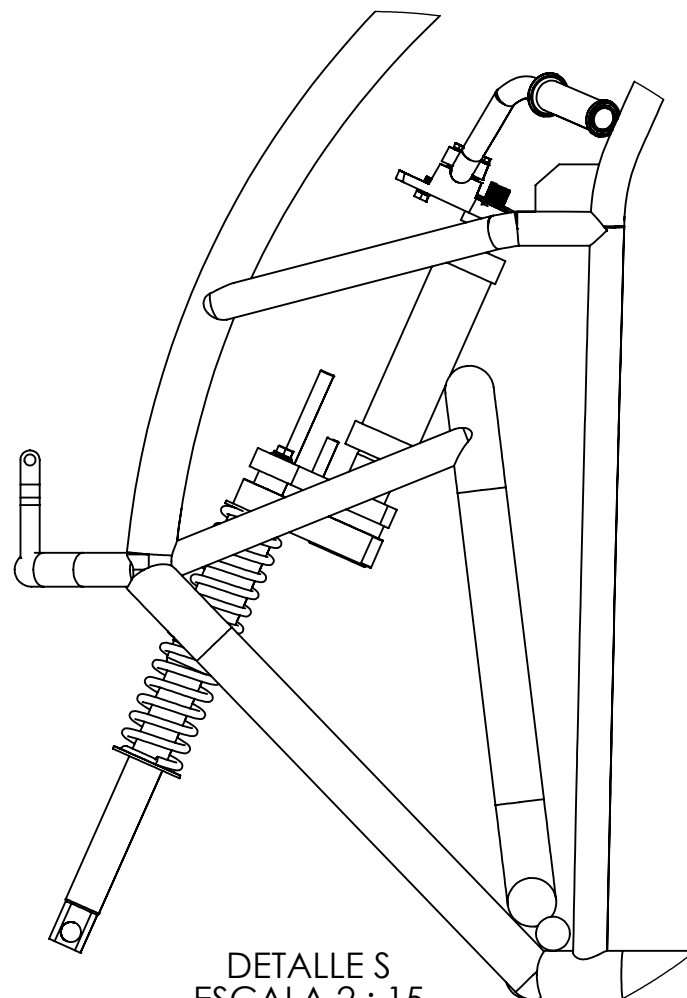


VISTA FRONTAL  
ESCALA 1 : 15

Timon del Prototipo vehicular electrico



VISTA ISOMETRICO INFERIOR  
ESCALA 1 : 15

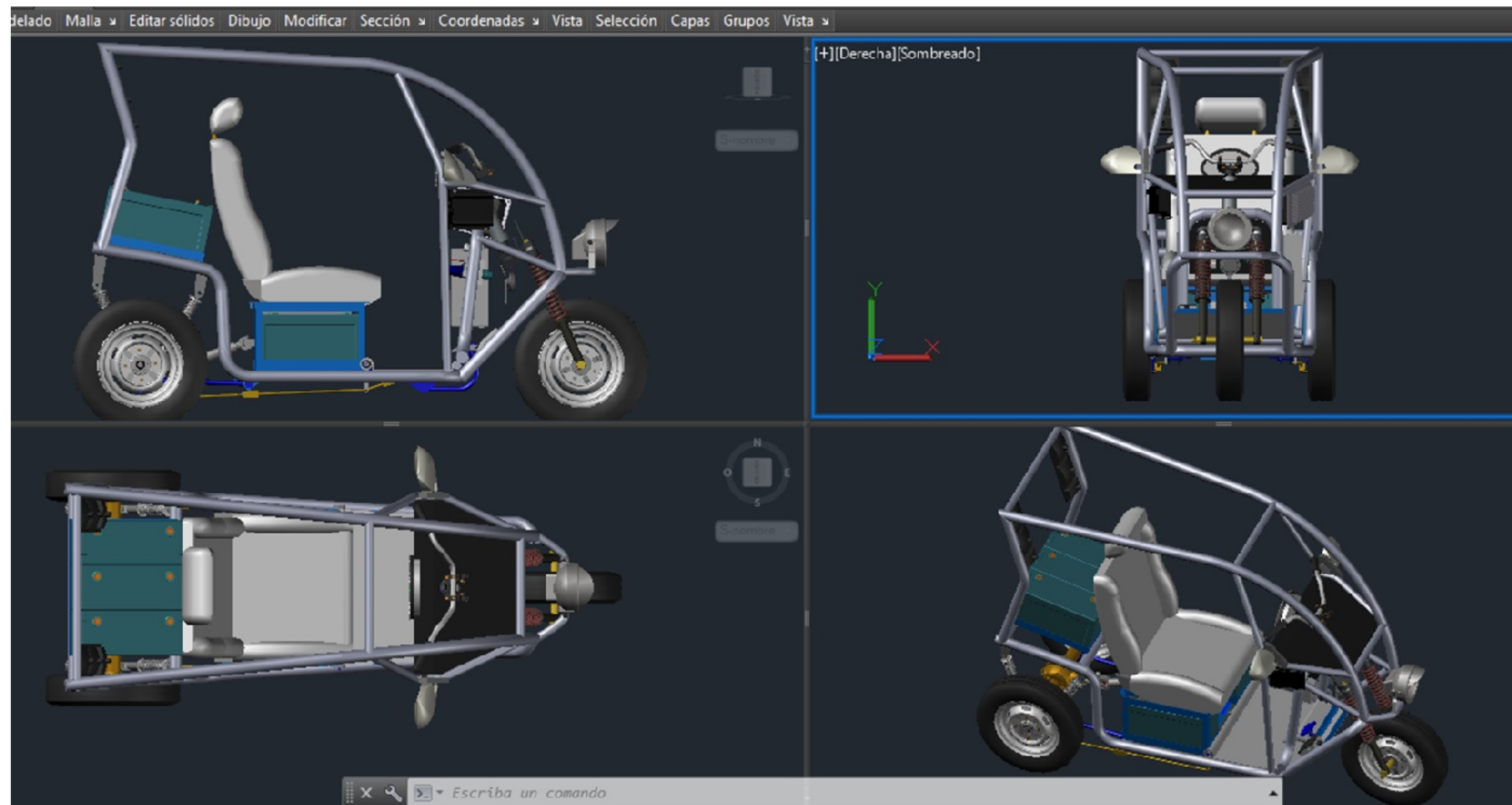


DETALLE S  
ESCALA 2 : 15

Suspension delantera tipo resorte

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
					FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS	
					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA	
					MECANICA ELECTRICA	
					TÍTULO: <b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017	MATERIAL:  VARIOS	DIBUJO:  UBICACION DE TIMON	
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017		A3	
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017			
				ESCALA: INDICADA		HOJA 9 DE 11



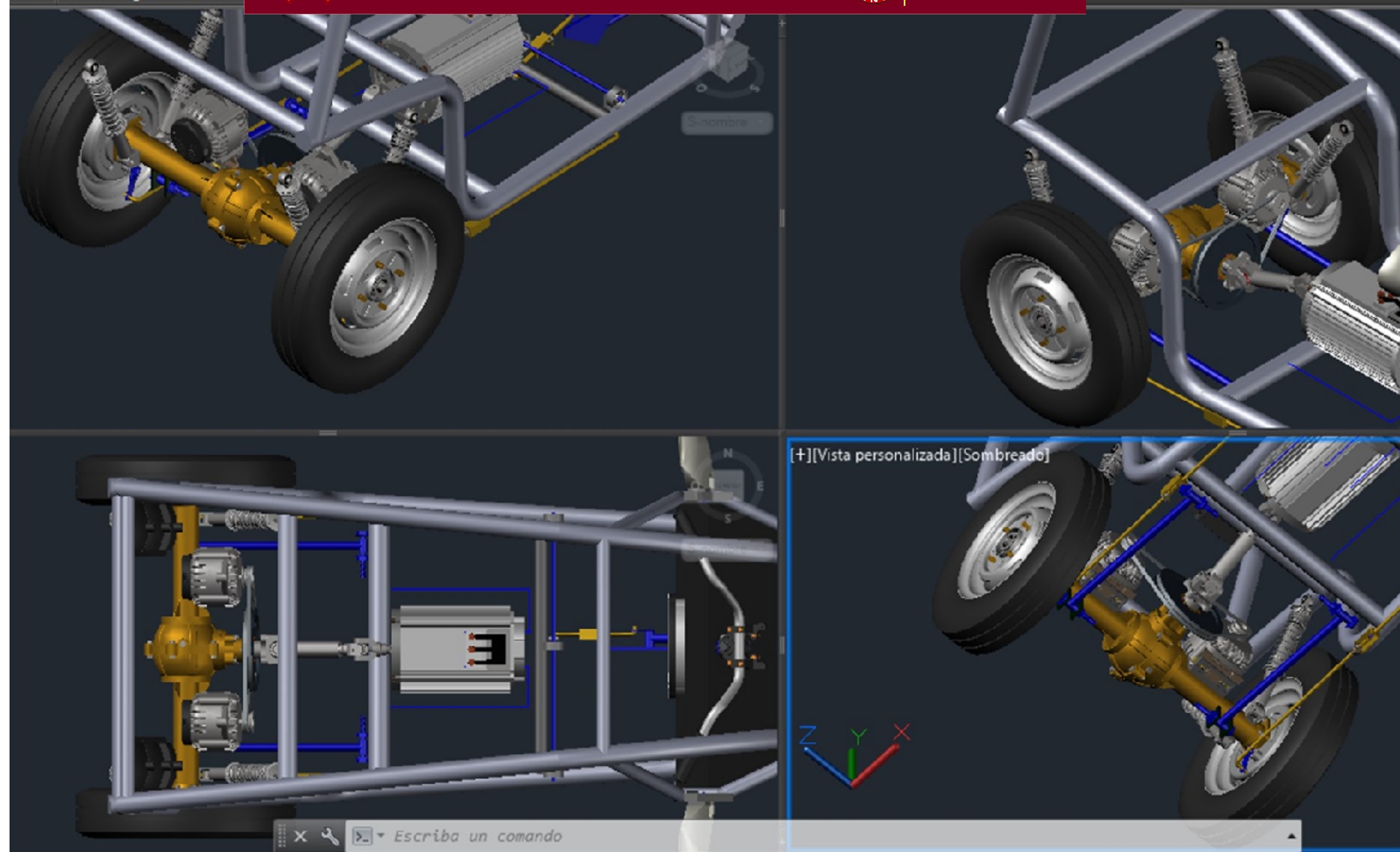


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	<b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y		25/07/2017			
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y					
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y					
				MATERIAL: Varios	DIBUJO:	Prototipo Vehicular terminado
					ESCALA:1:1	HOJA 10 DE 11



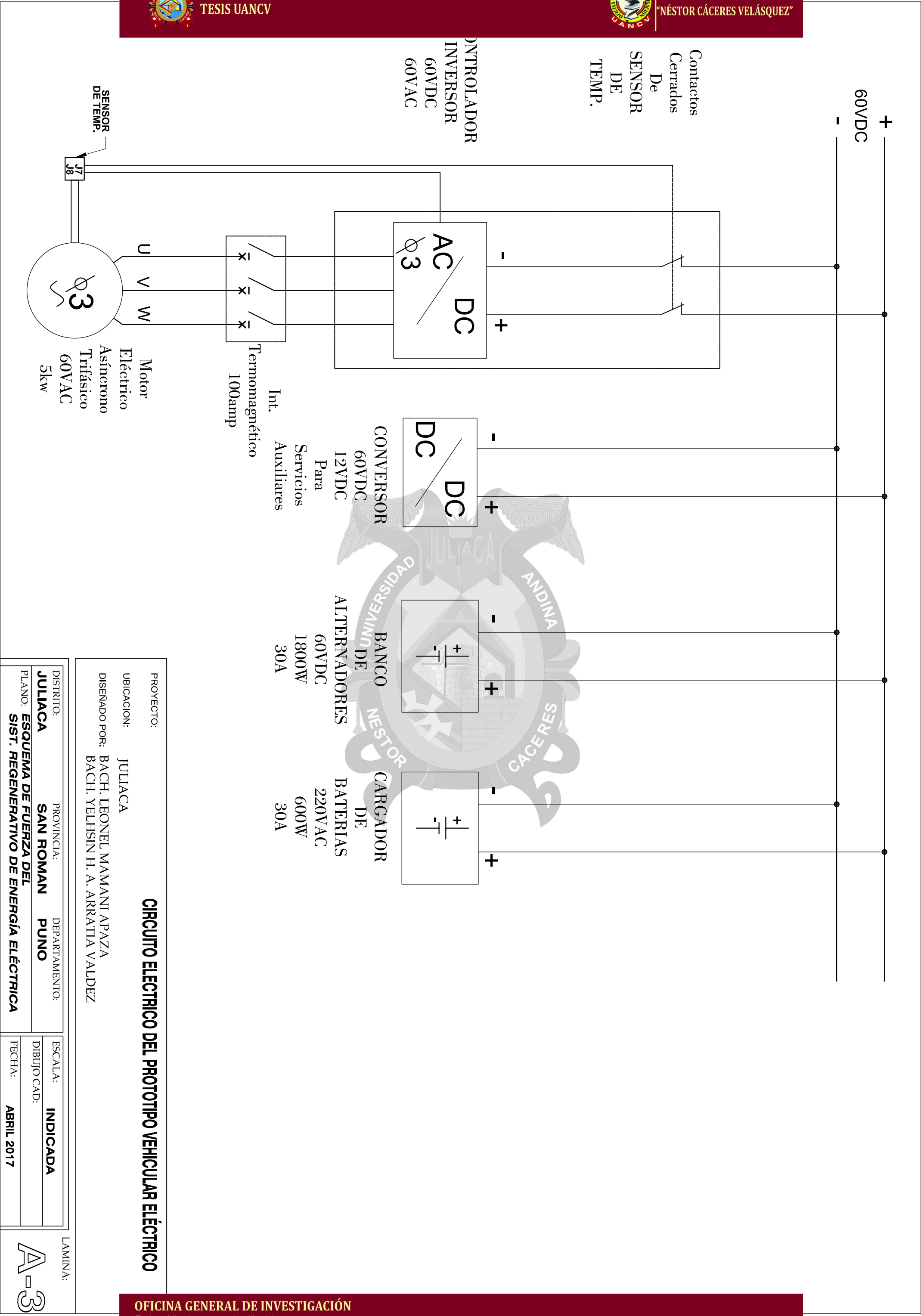


das » Ventanas gráficas de mod



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: SEGUN MEDIDAS DEL PLANO			UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	
DIBUJ.	ARRATIA VALDEZ, Y	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	<b>PROTOTIPO VEHICULAR ELECTRICO</b>
VERIF.	ARRATIA VALDEZ, Y				DIBUJO:	Propuesta de imp. del sist. regenerativo de energia electrica
APROB.	ARRATIA VALDEZ, Y				MATERIAL:	Varios
				ESCALA:1:1	HOJA 11 DE 11	









# CIRCUITO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO VEHICULAR ELÉCTRICO

BACH. YELHSIN H. A. ARRATIA VALDEZ

# SIST. REGENERATIVO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**INDICADA**

## DIBUJO CAD:

FECHA:

ABRIL 2017